

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

ISSN 2286-668X

KASEM BUNDIT

Engineering Journal



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2565

Vol.12 No.1 January - April 2022

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2565

Kasem Bundit Engineering Journal (KBEJ)

Volume 12 No.1 January-April 2022

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

Kasem Bundit Engineering Journal (KBEJ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตจัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและพัฒนา ผลงานวิชาการ ตลอดจนองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ของอาจารย์ นักวิชาการอิสระ และวิศวกรทั่วไป และเป็นสื่อกลางระหว่างมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิตกับสังคมภายนอกในการเผยแพร่ความรู้ต่างๆ ด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้เป็นฐานความรู้จะนำไปสู่การพัฒนาด้านวิศวกรรมต่อไป โดยมีกำหนดตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ ออกเป็นราย 4 เดือน (ประจำเดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และ กันยายน-ธันวาคม)

วัตถุประสงค์

- เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่ผลงานวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
- เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานวิจัยและพัฒนา และผลงานวิชาการของคณาจารย์ทั้งในและนอกสถาบัน ตลอดจนนักวิชาการอิสระและวิศวกรทั่วไป
- เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้เกิดการวิจัยทั้งภายในและภายนอกสถาบัน ส่งผลให้มีการต่อยอดงานวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความเชื่อมโยงระหว่างวิชาการและวิชาชีพ อันจะเป็นประโยชน์แก่ชุมชนและสังคมโดยรวม
- เพื่อสร้างกลไกสนับสนุนการเผยแพร่รวมถึงระบบการรวบรวมและคัดสรรผลงานวิจัยและงานสร้างสรรค์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในวงวิชาการและวิชาชีพ ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการประกันคุณภาพการศึกษา

บทความที่สามารถตีพิมพ์ลงในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

บทความที่สามารถตีพิมพ์ลงในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตจะเน้นเป็นบทความวิจัย (Research Article) หรืออาจจะเป็นบทความวิชาการ (Academic Article) ได้ เช่น บทความปริทัศน์ (Review Article) บทความทางเทคนิค (Technical Article) บทความเชิงปฏิบัติในวิชาชีพ (Professional Practice) เป็นต้น หรือในบางครั้งจะเป็นบทความรับเชิญ (Invited Article) หรือบทความอื่นๆ (Other Article) ด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของกองบรรณาธิการ โดยทุกบทความควรมีลักษณะดังนี้

- เป็นบทความวิจัยหรือบทความทางวิชาการ ในลักษณะที่จะนำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิชาการและวิชาชีพ
- เป็นบทความที่ไม่เคยได้รับการตีพิมพ์มาก่อนทั้งภายในประเทศหรือต่างประเทศ
- เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ในระหว่างการพิจารณาของสื่อสิ่งพิมพ์อื่น ๆ
- เป็นบทความที่ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น เนื้อหาในบทความไม่ได้ลอกเลียนหรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่นหรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
- ผู้เขียนได้แก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Reviewer) หรือกองบรรณาธิการแล้ว
- บทความในลักษณะอื่นๆ นอกเหนือจากรายละเอียดข้างต้นจะได้รับการพิจารณาจากกองบรรณาธิการเป็นกรณีเฉพาะ

การประเมินบทความ

การประเมินบทความที่ดีมีพลังในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตมีรายละเอียดดังนี้

- บทความทุกฉบับจะได้รับการอ่านและตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะในสาขาวิชานั้นๆ จำนวนไม่น้อยกว่า 2 ท่าน ในระบบ Double-blind Review โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนบทความจะถูกปกปิดชื่อระหว่างกระบวนการพิจารณาบทความ
- กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้นเกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบบทความ ถ้าไม่ผ่านการพิจารณา จะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ เมื่อผู้เขียนดำเนินการแก้ไขบทความตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ และ/หรือ กองบรรณาธิการแล้ว จากนั้นจึงจะแจ้งให้ทราบกำหนดการตีพิมพ์บทความนั้นต่อไป
- กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิในการตรวจแก้ไขรูปแบบบทความที่ส่งมาตีพิมพ์และอาจจะส่งเรื่องคืนมายังผู้เขียนให้เพิ่มเติมหรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี
- การยอมรับการตีพิมพ์หรือปฏิเสธการตีพิมพ์บทความเป็นสิทธิของกองบรรณาธิการ และกองบรรณาธิการจะไม่รับผิดชอบในเนื้อหาหรือความถูกต้องของบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ทุกเรื่อง ความถูกต้องของเนื้อหา การใช้ภาษาและรูปแบบการเขียนถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน

การส่งบทความ

ผู้เขียนจะต้องจัดเตรียมบทความต้นฉบับที่พิมพ์ตามข้อกำหนดของรูปแบบวารสาร จำนวน 1 ชุด และผู้เขียนบทความกรอกข้อมูลใบนำส่งบทความ พร้อมสแกนใบนำส่งบทความและแนบไฟล์

ต้นฉบับบทความส่งมาที่ E-Mail: engkasemjournal@kbu.ac.th หรือ ผู้เขียนสามารถส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System ได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register>

หากมีปัญหาในการส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System โปรดติดต่อกองบรรณาธิการ ที่ 02-320-2777 ต่อ 1211

ลิขสิทธิ์

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ห้ามนำข้อความทั้งหมดไปตีพิมพ์ซ้ำ ยกเว้นได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิตแล้ว หากบทความที่ได้รับการตีพิมพ์นั้นเป็นบทความที่จะเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นหรือมีความไม่ถูกต้องในเนื้อหาของบทความ ผู้เขียนบทความนั้นต้องเป็นผู้รับผิดชอบ

กำหนดตีพิมพ์

ปีละ 3 ฉบับ ออกเป็นราย 4 เดือน (ประจำเดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และ กันยายน-ธันวาคม)

จัดพิมพ์โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

คณะที่ปรึกษา:

ดร.วัลลภ สุวรรณดี	อธิการบดี มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.สุวัฒน์ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.เสนีย์ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.อริศ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายทรัพยากรบุคคล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ประสาร มาลากุล ณ อยุธยา	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.อิงอร ตันพันธ์	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

บรรณาธิการ:

รศ.ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
------------------------------	--

รองบรรณาธิการ:

ผศ.ดร.ภาวัต ไชยชาตนาทิก	รองคณบดีฝ่ายวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
-------------------------	---

กองบรรณาธิการ:

ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.โจเซฟ เคดาร์	สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและ นวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ศ.ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.ปราโมทย์ เฉชะอำไพ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Prof. Dr.Belkacem Zeghamati	Laboratoire de Mathematiques et Physique des Systeme-Gruppe de Mecanique Energetique, Universite de Perpignan, France
รศ.ดร.จิราณัฐ เสี่ยมศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.บุญเลิศ สือเจีย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย	ที่ปรึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.ยุทธชัย บรรเทงจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.เวทิน ปิยรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.สมิตร ส่งพิริยกิจ	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.อิทธิพงศ์ ชัยสาพันธ์	บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ศันสนีย์ สุภาภา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อ.ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
อ.ดร.ชาญวิทย์ อุดมศักดิ์กุล	สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ
อ.ดร.วศิน มหัตนรินทร์กุล	วิศวกร ที่ปรึกษาโรงงาน อาจารย์พิเศษ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ:

รศ.วิญญู แสงสินกสิกิจ	อ.ดร.ศักดิ์ชาย รักการ
ผศ.อนุชิต เจริญ	อ.ธีรยุทธ จันท์แจ่ม
ผศ.ดร.หนึ่งฤทัย ทิมย้ายงาม	ผศ.วรกร เกิดทรัพย์
อ.ดร.ประภาส ผ่องสนาม	อ.อุบลรัตน์ วาริชวัฒนะ

ฝ่ายเลขานุการ:

คุณยุพิน ไชยโคตร	คุณกรศิริ จันท์สุขเจริญจินดา
คุณรุ่งนภาพร ภูธรธราช	

บทบรรณาธิการ

ปัจจุบัน วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต (Kasem Bundit Engineering Journal) ได้ดำเนินการก้าวเข้าสู่ปีที่ 12 ในการนี้ทางกองบรรณาธิการมีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้เป็นส่วนหนึ่งในการเผยแพร่ผลงานผลงานวิจัยและวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ในวงกว้าง เพื่อพัฒนาและยกระดับคุณภาพด้านวิชาการและวิจัย ตลอดจนเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาไปสู่การเป็นประเทศที่พัฒนาแล้วตามเจตนารมณ์ของยุทธศาสตร์ของประเทศ

หนึ่งในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ที่ผ่านมา ทางกองบรรณาธิการได้ยื่นขอให้ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) ทำการประเมินคุณภาพวารสารเพื่อปรับกลุ่มในรอบปี 2565 และหวังว่าวารสารจะสามารถกลับขึ้นเป็น TCI กลุ่ม 1 เพื่อเป็นประโยชน์ต่อนักวิชาการ นักวิจัย และผู้เขียนทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานของวารสารฯ มาอย่างต่อเนื่องต่อไป

สุดท้ายนี้ กองบรรณาธิการใคร่ขออำนาจสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายในสากลโลก โปรดดลบันดาลให้ทุกท่านมีสุขภาพแข็งแรง ปลอดภัยจากการภัยอันตรายใด ๆ เพื่อให้สามารถสร้างสรรค์ผลงานวิจัยและวิชาการเพื่อเป็นประโยชน์ต่อประเทศสืบไป

รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ
บรรณาธิการวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

บทความวิจัย (Research Article)

การพยากรณ์ราคารายเดือนของพืชสวนด้วยวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะและวิธีลำดับชั้นแบบบนลงล่าง

THE FORECASTING OF HORTICULTURE MONTHLY PRICE USING INDIVIDUAL AND TOP-DOWN HIERARCHICAL METHODS

1

ศิริประภา ดีประดิษฐ์ และ ชนาธิป พรหมเพศ

A BACKSTEPPING-LIKE CONGESTION TRACKING CONTROL FOR TCP/AQM SYSTEMS

18

Kruawan Wongsurith, Adirak Kanchanaharuthai, Somchai Poonyaniran and Pinit Ngamsom

การพัฒนารวกกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล

DEVELOPMENT OF RECYCLED PLASTIC GUARDRAIL

34

กীরติกร อินทร์ักษ์ ชลัท ทิพากรเกียรติ นันทชัย ชูศิลป์ และ จุญญ เจริญเนตรกุล

การศึกษาทำถ่านอัดแท่งจากเปลือกส้มโอ

THE STUDY ON THE PRODUCTION OF CHARCOAL BRIQUETTES FROM POMELO PEELS

55

สิริชัย จีรวงศ์นุสรณ์ และ จังหวัด เจริญสุข

การศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาช่อนทะเลด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

A STUDY OF DRYING KINETICS OF SALTED COBIA FISH DRYING IN A SOLAR GREENHOUSE

75

กมลวรรณ จิตจักร และ แสนเชิง พรหมชิต

การพยากรณ์ราคารายเดือนของพืชสวนด้วยวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะ
และวิธีลำดับชั้นแบบบนลงล่าง

THE FORECASTING OF HORTICULTURE MONTHLY PRICE USING
INDIVIDUAL AND TOP-DOWN HIERARCHICAL METHODS

ศิริประภา ดีประดิษฐ์¹ และ ชนาธิป พรหมเพศ²

^{1,2}อาจารย์, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ถนนปรีดิพนมยงค์ ตำบลประตูชัย
อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000,

¹d_siraprapha@aru.ac.th, ²pchanatip@aru.ac.th

Siraprapha Deepradit¹ and Chanatip Prompes²

^{1,2}Lecturer, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, 96 Pridi Banomyong Road.,
Pratuchai, Phranakhon Si Ayutthaya, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand,

¹d_siraprapha@aru.ac.th, ²pchanatip@aru.ac.th

บทคัดย่อ

การบริหารจัดการในโซ่อุปทานสินค้าทางการเกษตร ปัจจัยราคาเป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมต้นทุนการผลิต หากสามารถทราบราคาร่วงหน้าที่มีความแม่นยำ จะส่งผลให้การวางแผนมีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้ศึกษาการพยากรณ์ราคารายเดือนของพืชสวน จำนวน 3 ชนิด ประกอบด้วย ยางพารา ปาล์มน้ำมัน และมะพร้าวแห้งผลใหญ่ ซึ่งใช้การพยากรณ์แบบเฉพาะและการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง และเปรียบเทียบการพยากรณ์ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและค่าสัญญาณติดตาม โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ข้อมูลการสร้างแบบจำลอง ใช้ข้อมูลราคารายเดือนในปี พ.ศ.2542 ถึง พ.ศ.2563 และข้อมูลการทดสอบแบบจำลอง ใช้ข้อมูลราคารายเดือนในปี พ.ศ.2564 เปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ผลการวิจัยพบว่าราคายางพาราใช้การพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่ไม่มีแนวโน้มแบบเต็มพิกัด ราคาลำต้นน้ำมันและมะพร้าวแห้งผลใหญ่ใช้การพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่างโดยหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสม ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของการสร้างตัวแบบของวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุด อยู่ในช่วง 6.25% ถึง 7.03% เมื่อนำไปพยากรณ์ราคาในปีถัดไปมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย อยู่ในช่วง 8.91% ถึง 9.55% จากนั้นวิเคราะห์ค่าสัญญาณติดตามพบว่าราคารายเดือนอยู่ในช่วงที่กำหนด [-6, +6] งานวิจัยนี้เป็นการพยากรณ์มี

ความแม่นยำสูง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนสำหรับเกษตรกรและโรงงานอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: พืชสวน, วิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะ, วิธีการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง

ABSTRACT

Management in agricultural supply chains, the price factor is an important consideration since it influences the control of production costs. Being able to accurately predict the price in advance will result in more effective planning. The monthly forecasts of three types of horticultural crops, rubber, oil palm, and large dried coconut, were studied using an individual forecast and top-down hierarchical forecasting, and the forecasts were compared using the mean absolute error percentage and tracking signal. By dividing the data into 2 sets that are the training dataset which is monthly price data from 1999 to 2020 and the testing dataset, which is monthly price data in 2021, compared to actual price. The results showed that the rubber price was forecasted using a Damped Trend Non-Seasonal, oil palm, and large copra prices were based on top-down hierarchical forecasting based on the proper weighting. The mean absolute percentage error of the training data ranged from 6.25% to 7.03%. The comparison of the forecasted price and the real price in 2021, the mean absolute percentage error ranged from 8.91% to 9.55%. After analyzing the tracking signal values, the monthly prices were within the defined range [-6, +6]. Forecast results are highly accurate forecasts. This work could be used as a planning tool by farmers and industrial enterprises.

KEYWORDS: horticulture, individual forecast, Top-Down hierarchical forecast

1. บทนำ

พืชเศรษฐกิจของประเทศไทยถูกขนานนามให้เป็นพืชที่ทำเงินให้กับเกษตรกรและประเทศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ คือ พืชสวนเป็นประเภทของพืชเศรษฐกิจที่มีความหลากหลาย ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมการเกษตร โดยไม่จำกัดขนาดพื้นที่สามารถนำเอาไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ให้ผลตอบแทนได้ดีและมีความต้องการในตลาด จึงทำให้พืชสวนกลายเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในประเทศ [1] งานวิจัยนี้ศึกษาราคาของพืชสวน 3 ชนิด คือ ยางพารา (Rubber) ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของภาคใต้และของประเทศไทย พบว่ามีเกษตรกรตลอดจนผู้ที่ทำธุรกิจเกี่ยวข้องกับยางพาราประมาณ 1 ล้านครอบครัว ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางพาราเป็นอันดับ 1 ของ

โลก [2] ยางพาราสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญรองลงมาจากยางพารา สำหรับอุตสาหกรรมต้นน้ำของปาล์มน้ำมัน ประกอบไปด้วยเกษตรกร ผู้รวบรวมพันธุ์ ผู้ผลิตกล้าปาล์ม ลานเท และโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มดิบเข้าสู่อุตสาหกรรมกลางน้ำต่อไป ปาล์มน้ำมันสามารถนำมาแปรรูปได้ทั้งรูปแบบของน้ำมันพืชที่ใช้ในการประกอบอาหาร และใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ [3] และมะพร้าวผลแห้งขนาดใหญ่ (Large Dried Coconut) เป็นพืชสวนตระกูลปาล์ม มีการผลิตมะพร้าวทั่วโลก 60,809,810 ตัน โดยประเทศไทยสามารถผลิตได้ร้อยละ 1.64 ของผลผลิตทั่วโลก ประเทศไทยมีการส่งออกไปยังประเทศต่าง ๆ โดยมีประเทศคู่ค้าที่สำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร ออสเตรเลีย แคนาดา เนเธอร์แลนด์ และเยอรมนี [4]

การพยากรณ์เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต หากผู้พยากรณ์สามารถพยากรณ์ได้ใกล้เคียงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจะทำให้สามารถวางแผนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในการพยากรณ์มีผู้วิจัยได้นำไปใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยมากมาย เช่น Riansut [5] ได้พยากรณ์ราคามะพร้าวด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Square Mean Error: RSME) ซึ่งพบว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่ดีที่สุด Tanyarattanasrisakul [6] ได้พยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวนด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ซึ่งพบว่าวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์มีความแม่นยำมากที่สุด Noosen et al [7] พยากรณ์ปริมาณการผลิตน้ำมันดิบในประเทศด้วยวิธีแยกองค์ประกอบ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีตัวแบบพยากรณ์เกรย์ โดยเปรียบเทียบด้วย MAPE และ MSE ซึ่งอนุกรมเวลาของปริมาณการผลิตน้ำมันดิบมีลักษณะการเคลื่อนไหวของแนวโน้มแต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เหมาะสมที่สุด Luangtong and Kantanantha [8] เลือกตัวแบบการพยากรณ์สำหรับสินค้าทางการเกษตรประกอบด้วย ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง และสับปะรด โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ระบบผสมของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และเปรียบเทียบด้วย MAPE และ Deepradit and Ruksorn [9] ได้พยากรณ์ราคาพืชไร่ ประกอบด้วย ข้าวเปลือกเจ้า อ้อยโรงงาน มันสำปะหลังสด ถั่วลิสง และข้าวโพด สำหรับการพยากรณ์แบบลำดับชั้น ได้มีงานวิจัยที่นำมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ Hyndman et al [10] ใช้วิธีการพยากรณ์แบบบนลงล่าง (Top Down) และการพยากรณ์แบบล่างขึ้นบน (Bottom Up) ในการพยากรณ์จำนวนนักท่องเที่ยว งานวิจัยของ MirČetić et al [11] ได้ประยุกต์วิธีการพยากรณ์แบบ Top Down และ Bottom Up เพื่อพยากรณ์ในโซ่อุปทานผลิตภัณฑ์น้ำดื่ม และงานวิจัยของ Karmy and Maldonado [12] ประยุกต์ใช้กับการพยากรณ์ในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของยุโรป

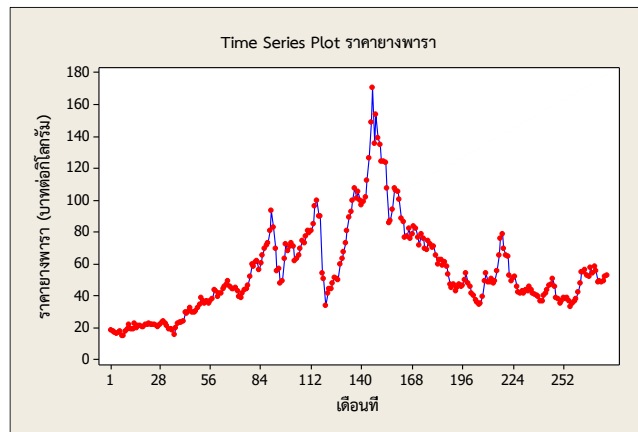
Deepradit et al [13] ได้พยากรณ์ราคามะพร้าวน้ำหอมโดยวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะ ประกอบด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีแยกองค์ประกอบอนุกรมเวลา และวิธีพยากรณ์แบบบนลงล่าง เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ด้วย MAPE สำหรับการแปลผลค่าความผิดพลาด MAPE จากงานวิจัยของ Montañó et al [14] ถ้าค่า MAPE น้อยกว่า 10% แสดงว่าเป็นการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูง (High Accurate Forecasting) ถ้า MAPE อยู่ในช่วง 10% – 20% แสดงว่าเป็นการพยากรณ์ที่ดี (Good Forecasting) ถ้า MAPE อยู่ในช่วง 21% - 50% แสดงว่าเป็นการพยากรณ์ที่สมเหตุสมผล (Reasonable Forecasting) และถ้ามากกว่า 50% แสดงว่าเป็นการพยากรณ์ที่ไม่แม่นยำ (Inaccurate Forecasting)

งานวิจัยนี้ได้พยากรณ์ราคารายเดือนของพืชสวน 3 ชนิด ประกอบด้วย ยางพารา ปาล์มน้ำมัน และมะพร้าวแห้งผลใหญ่ โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบเฉพาะ เปรียบเทียบกับการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่างโดยใช้ค่าผลรวมราคารายปีจากการพยากรณ์โดยรวมรายปี (Aggregate Forecast) และการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบล่างขึ้นบน (Bottom-Up Forecast) โดยเปรียบเทียบการพยากรณ์ด้วย MAPE ให้มีค่าไม่เกิน 10% และค่าสัญญาณติดตาม (Tracking Signal: TS) อยู่ในช่วงที่กำหนด คือ [-6, +6] [15]

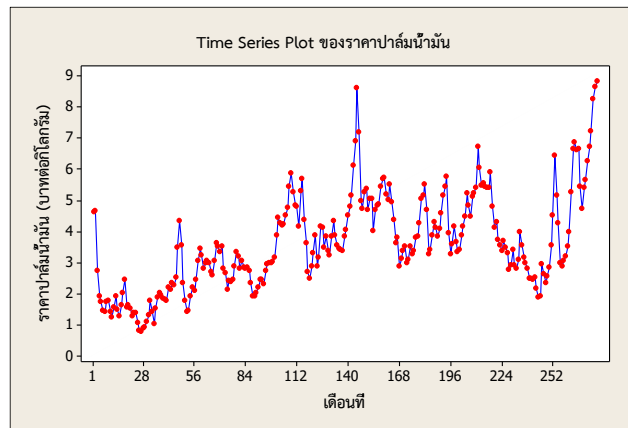
2. การวิเคราะห์ราคารายเดือนพืชสวน

งานวิจัยนี้ศึกษาพืชสวน จำนวน 3 ชนิด ประกอบด้วย ยางพารา ปาล์มน้ำมัน และมะพร้าวแห้งผลใหญ่ โดยใช้ข้อมูลรายเดือนจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยเก็บข้อมูลรายเดือนของพืชสวนแต่ละชนิด ตั้งแต่ปี พ.ศ.2542 ถึง พ.ศ.2564 และแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง (Training Dataset) เพื่อใช้ในการทดลองสร้างแบบจำลองโดยใช้วิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ และเลือกวิธีที่มีค่าความผิดพลาด (MAPE) ที่น้อยที่สุด ซึ่งใช้ข้อมูลรายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2542 ถึง พ.ศ.2563 จำนวน 264 ข้อมูล สำหรับข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลสำหรับทดสอบแบบจำลอง ใช้ข้อมูลรายเดือน ปี พ.ศ.2564 จำนวน 12 ข้อมูล ในการทดสอบวิธีการพยากรณ์ที่ได้เปรียบเทียบกับราคาจริงรายเดือน

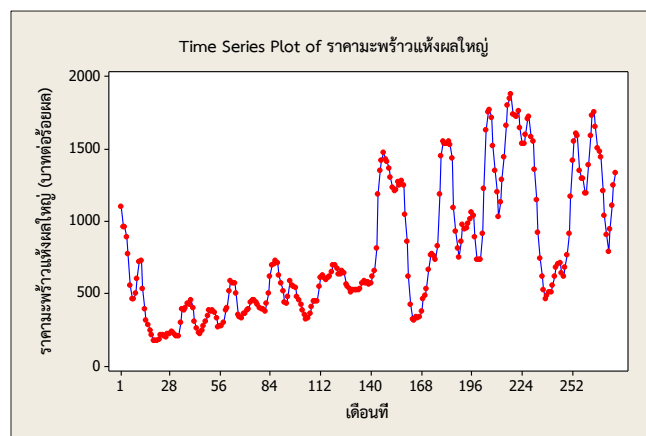
ผู้วิจัยได้พล็อตกราฟอนุกรมเวลาของราคารายเดือน เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของแนวโน้มและฤดูกาลของพืชแต่ละชนิด ดังรูปที่ 1 - 3 พบว่าราคาพืชสวนแต่ละชนิดมีรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยสรุปดังตารางที่ 1 วิเคราะห์โดยใช้ Predictor ของโปรแกรม Oracle Crystal Ball ซึ่งการตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้มและฤดูกาลหรือไม่ โดยทดสอบสมมติฐานว่าอนุกรมเวลาในแต่ละปีมีการแจกแจงปกติและความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่ เพื่อเลือกใช้สถิติสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาว่าเป็นแบบอิงพารามิเตอร์ ซึ่งคือการวิเคราะห์ ANOVA หรืออนุกรมเวลาแบบไม่อิงพารามิเตอร์ซึ่งคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอลล-วอลล์ลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) [16]



รูปที่ 1 อนุกรมเวลาราคารายเดือนของขางพารา



รูปที่ 2 อนุกรมเวลาราคารายเดือนของปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 3 อนุกรมเวลาราคารายเดือนของมะพร้าวแห้งผลใหญ่

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์แนวโน้มและฤดูกาลของราคาพืชสวนแต่ละชนิด

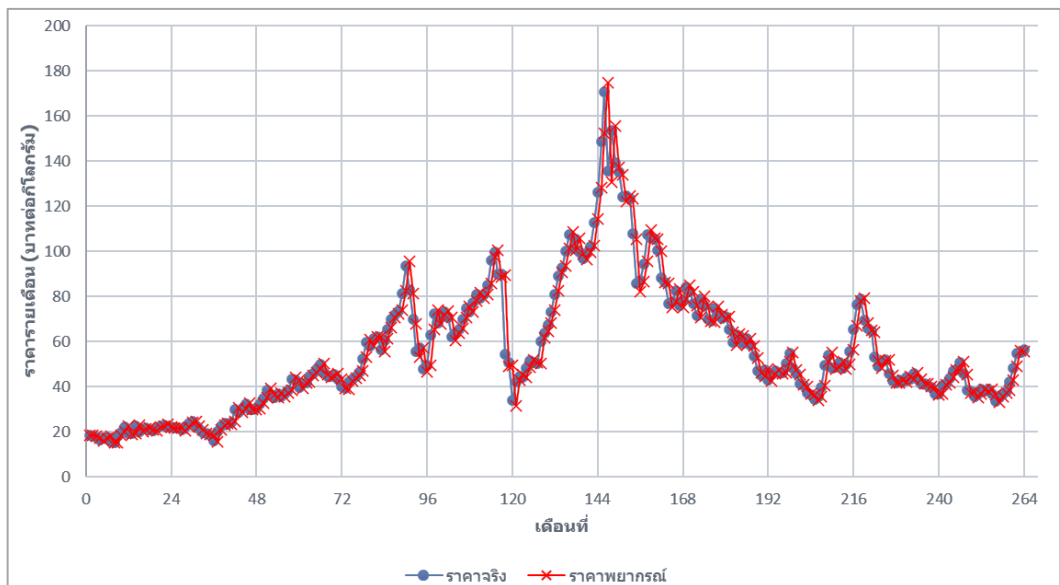
ลำดับที่	ชนิดของพืชสวน	รูปแบบ	
		แนวโน้ม	ฤดูกาล
1	ยางพารา	✓	
2	ปาล์มน้ำมัน	✓	
3	มะพร้าวแห้งผลใหญ่	✓	✓

3. การพยากรณ์แบบเฉพาะ (Individual Method)

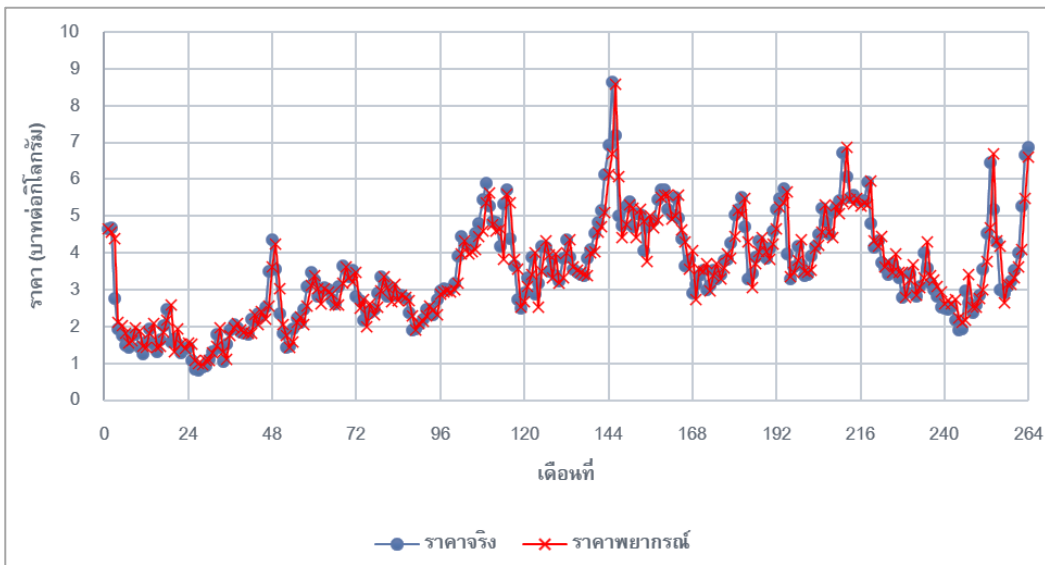
การพยากรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาว่าการพยากรณ์ใดมีค่าความผิดพลาด MAPE น้อยที่สุด โดยการพยากรณ์ที่ใช้คือการพยากรณ์แบบเฉพาะ โดยใช้ข้อมูลรายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2542 ถึง พ.ศ.2563 จำนวน 264 ข้อมูล ซึ่งเปรียบเทียบวิธีการในการพยากรณ์แบบเฉพาะ ทั้งหมด 12 วิธี ที่ได้จากการคำนวณด้วย Oracle Crystal Ball โดยใช้ Predictor ได้แก่ 1) วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins) 2) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่ไม่มีแนวโน้มแบบเติมพ (Damped Trend Non-Seasonal) 3) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มผลบวกแบบเติมพ (Damped Trend Seasonal Additive) 4) วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มผลคูณแบบเติมพ (Damped Trend Seasonal Multiplicative) 5) วิธีปรับเรียบด้วยการถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average) 6) วิธีปรับเรียบด้วยการถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่สองครั้ง (Double Moving Average) 7) วิธีปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังครั้งเดียว (Single Exponential Smoothing) 8) วิธีปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังสองครั้ง (Double Exponential Smoothing) 9) วิธีฤดูกาลแบบผลบวก (Seasonal Additive) 10) วิธีฤดูกาลแบบผลคูณ (Seasonal Multiplicative) 11) วิธีปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์วินเทอร์แบบบวก (Holt-Winters' Additive) 12) วิธีปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์วินเทอร์แบบคูณ (Holt-Winters' Multiplicative) โดยผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกวิธีการพยากรณ์โดยวิเคราะห์จากการพยากรณ์ที่มีแนวโน้มและฤดูกาลกับการพยากรณ์ที่มีแนวโน้มเพียงอย่างเดียว และเลือกการพยากรณ์ที่มีค่า MAPE ที่น้อยที่สุด ผลการสร้างแบบจำลองโดยสรุปวิธีการพยากรณ์ที่ทำให้มีค่าความผิดพลาด MAPE น้อยที่สุด สรุปดังตารางที่ 2 และแสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธีการแบบเฉพาะที่ดีที่สุดกับราคาจริงของพืชสวนแต่ละชนิด แสดงดังรูปที่ 4 - 6

ตารางที่ 2 สรุปค่า MAPE ของพยากรณ์แบบเฉพาะที่ดีที่สุดของพืชสวน

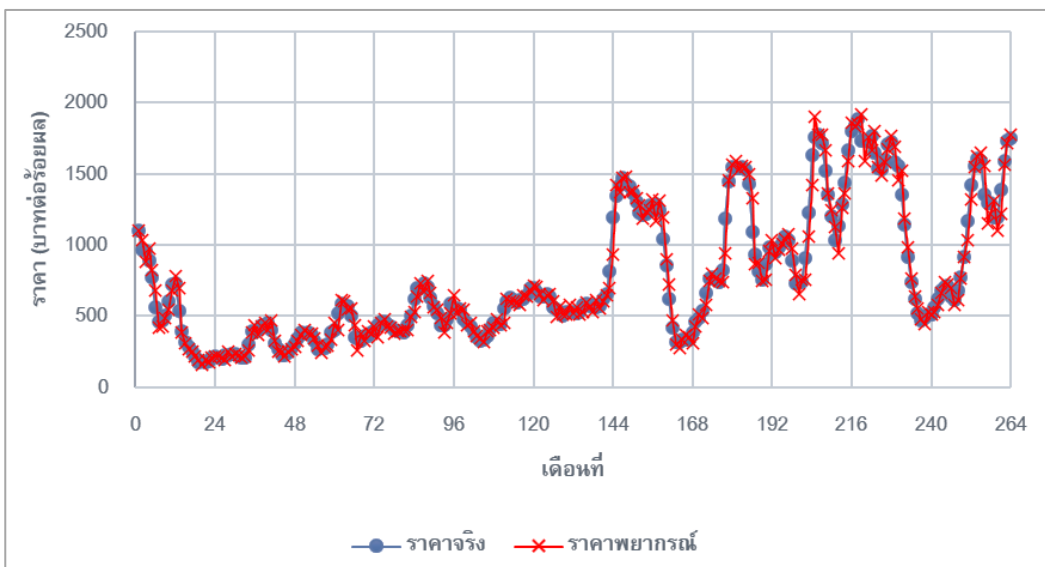
ชนิดของพืชสวน	เทคนิคการพยากรณ์	MAPE (%)	
		การสร้างแบบจำลอง	การทดสอบแบบจำลอง
ยางพารา	Damped Trend Non-Seasonal	7.03	8.91
ปาล์มน้ำมัน	ARIMA(1,1,2)	10.72	23.11
มะพร้าวแห้งผลใหญ่	SARIMA(1,1,1)(1,0,1)	5.88	49.59



รูปที่ 4 การพยากรณ์ราคาขายพาราด้วย Damped Trend Non-Seasonal



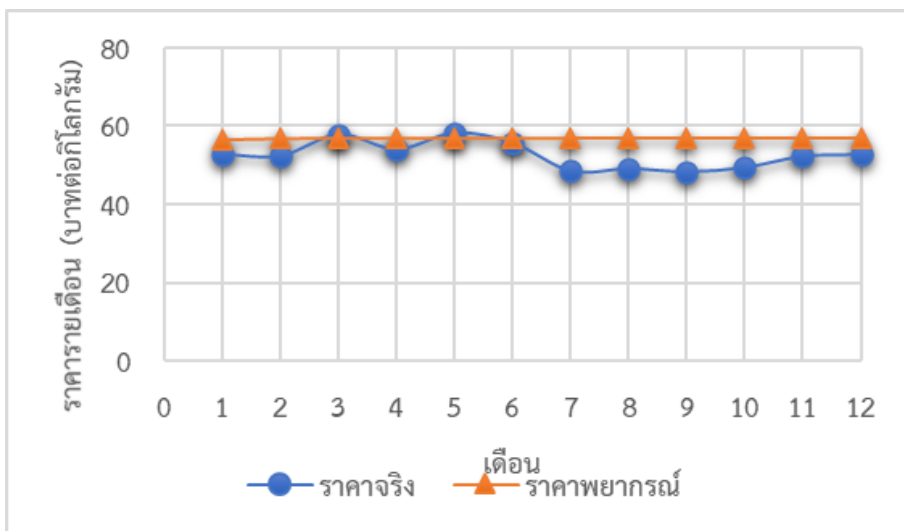
รูปที่ 5 การพยากรณ์ราคาปาล์มน้ำมันด้วย $ARIMA(1,1,2)$



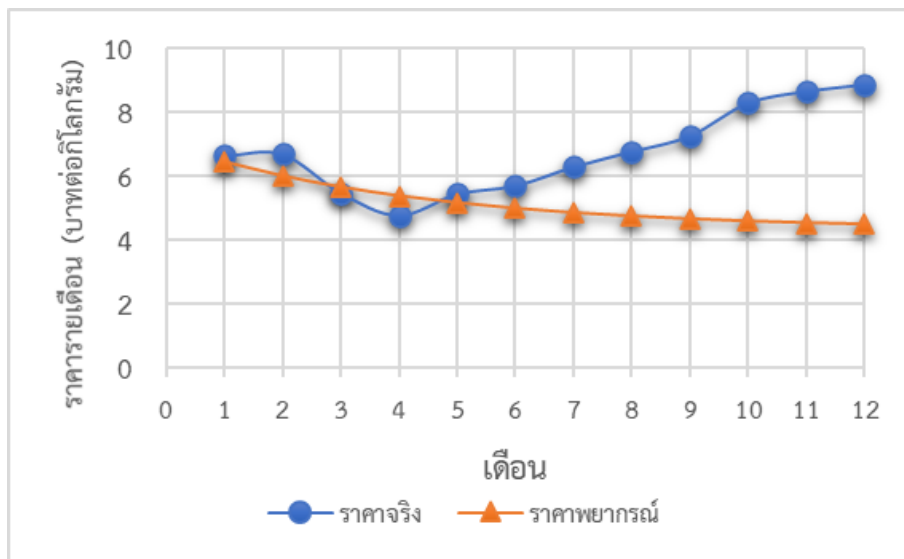
รูปที่ 6 การพยากรณ์ราคามะพร้าวแห้งผลใหญ่ด้วย $SARIMA(1,1,1)(1,0,1)$

การทดสอบแบบจำลองของวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะใช้ราคารายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 จำนวน 12 ข้อมูล โดยใช้วิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MAPE น้อยที่สุด มาพยากรณ์อีก 12 เดือนข้างหน้า โดยราคาขางพาราใช้วิธีการพยากรณ์ Damped Trend Non-Seasonal ราคาปาล์มน้ำมันใช้วิธีการพยากรณ์ Box-Jenkins แบบไม่มีฤดูกาล คือ $ARIMA(1,1,2)$ และราคามะพร้าวแห้งผลใหญ่ใช้

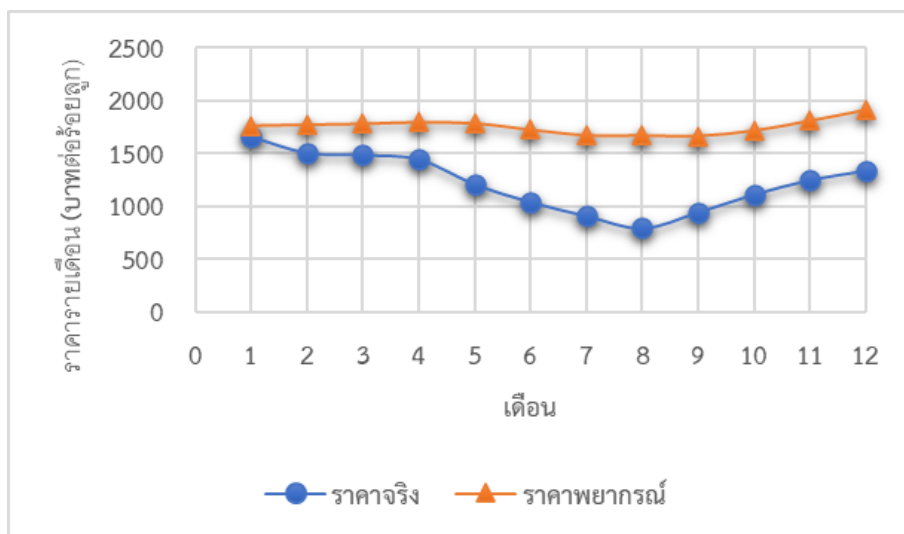
วิธีการพยากรณ์ Box-Jenkins แบบมีแนวโน้มและฤดูกาล คือ SARIMA(1,1,1)(1,0,1) จากนั้นนำมาหาค่า MAPE โดยเทียบกับราคาจริง แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าการพยากรณ์แบบเฉพาะของการสร้างแบบจำลอง ราคาขางพารา ราคาปาล์มน้ำมัน และราคามะพร้าวแห้งผลใหญ่ มีค่า MAPE เท่ากับ 8.91% 10.72% และ 5.88% ตามลำดับ สำหรับการทดสอบแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับราคาจริง พบว่า ราคาขางพารา ราคาปาล์มน้ำมัน และราคามะพร้าวแห้งผลใหญ่ มีค่า MAPE เท่ากับ 8.91% 23.11% และ 49.59% ตามลำดับ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าราคาขางพาราอยู่ในค่าที่กำหนด คือ น้อยกว่า 10% ทั้งการสร้างแบบจำลองและทดสอบแบบจำลอง สำหรับการพยากรณ์ราคาปาล์มน้ำมันและมะพร้าวแห้งผลใหญ่ พบว่า MAPE มีค่าสูงมาก และเมื่อนำราคาจริงและราคาพยากรณ์มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 7 – 9 พบว่าราคาขางพาราเมื่อเทียบกับราคาจริงมีค่าใกล้เคียงกัน ราคาปาล์มน้ำมันมีความแม่นยำในช่วง 6 เดือนแรก และมีค่าความผิดพลาดมากขึ้นในช่วง 6 เดือนหลัง สำหรับราคามะพร้าวแห้งผลใหญ่เทียบกับราคาจริง ค่าพยากรณ์มีค่ามากกว่าราคาจริง (Over Estimation) ในทุกเดือน



รูปที่ 7 ค่าพยากรณ์ราคาขางพาราเทียบกับราคาจริง ปี พ.ศ. 2564

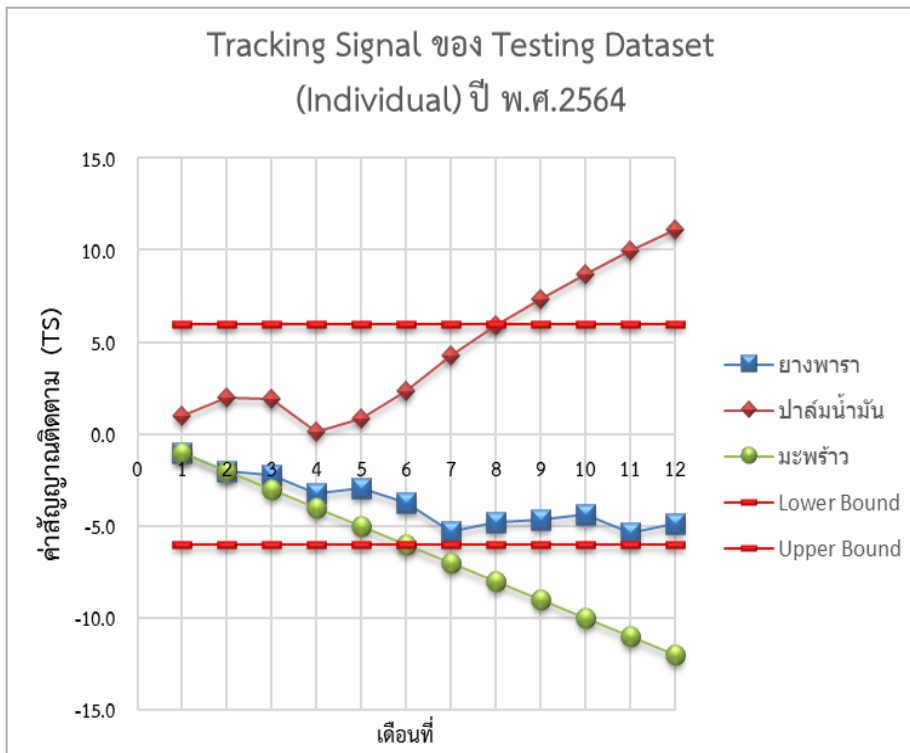


รูปที่ 8 ค่าพยากรณ์ราคาปาล์มน้ำมันเทียบกับราคาจริง ปี พ.ศ. 2564



รูปที่ 9 ค่าพยากรณ์ราคามะพร้าวแห้งผลใหญ่เทียบกับราคาจริง ปี พ.ศ. 2564

การคำนวณหาค่าสัญญาณติดตามเพื่อติดตามแต่ละเดือนว่าค่าพยากรณ์ที่ได้น้อยกว่าหรือมากกว่าราคาจริง และเพื่อตรวจสอบว่าแต่ละเดือนราคาออกนอกช่วงที่กำหนดหรือไม่ โดยงานวิจัยนี้กำหนดค่าสัญญาณติดตามในช่วง $[-6, +6]$ แสดงดังรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าอย่างไรจะเห็นได้ว่าอยู่ในช่วงที่ควบคุมทุกจุด ปาล์มน้ำมัน และมะพร้าวแห้งผลใหญ่ ในช่วง 6 เดือนหลัง ค่าสัญญาณติดตามออกนอกช่วงที่กำหนด



รูปที่ 10 ค่าสัญญาณติดตามเทียบกับราคาจริงวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะ ปี พ.ศ. 2564

4. การพยากรณ์ราคาด้วยวิธีลำดับชั้นแบบบนลงล่าง (Top-Down Hierarchical Method)

วิธีลำดับชั้นแบบบนลงล่างได้ใช้รวมค่าพยากรณ์โดยเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ได้จากการใช้ข้อมูลราคาจริงรายเดือนรวมเป็นรายปี (Aggregate Forecast) และวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะที่ดีที่สุดที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเข้าด้วยกัน คือ การพยากรณ์แบบล่างขึ้นบน (Bottom-Up Forecast) โดยผลรวมของราคารายเดือนจากการพยากรณ์ที่นำมาใช้ ราคายางพาราใช้วิธีการพยากรณ์ Damped Trend Non-Seasonal ราคาปาล์มน้ำมันพยากรณ์ด้วยวิธี Box-Jenkins แบบ ARIMA(1,1,2) สำหรับราคามะพร้าวแห่งผลใหญ่ใช้วิธีการพยากรณ์ Box-Jenkins แบบ SARIMA(1,1,1)(1,0,1) โดยวิธีนี้ต้องคำนวณค่าน้ำหนัก (Weight) ของข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ โดยนำข้อมูลในอดีต (ปี พ.ศ. 2542 – 2563) ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขสมการวัตถุประสงค์และข้อจำกัด ดังสมการ (1) – (4)

4.1 การกำหนดพารามิเตอร์

W_t คือ ค่าน้ำหนักของเดือนที่ t

$\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์เดือนที่ t

$F_{Agg,i}$ คือ ค่าพยากรณ์โดยรวมปีที่ i

Y_t คือ ค่าจริงเดือนที่ t

N คือ จำนวนเดือนที่พยากรณ์

4.2 สมการวัดประสิทธิภาพ

$$\text{Minimize MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{|\hat{Y}_t - Y_t|}{Y_t} \times 100}{N} \quad (1)$$

4.3 ข้อจำกัด

$$\hat{Y}_t = W_t F_{Agg,i} \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^N W_t = 1 \quad (3)$$

$$0 \leq W_t \leq 1 \quad (4)$$

สมการวัดประสิทธิภาพ (1) ต้องการหา MAPE ที่น้อยที่สุด โดยมีข้อจำกัด ดังสมการ (2) – (4) คือ ค่าพยากรณ์แต่ละเดือนเท่ากับผลคูณของค่าน้ำหนักแต่ละเดือนซึ่งเป็นตัวแปรตัดสินใจ และค่าพยากรณ์รวมรายปีจากวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะที่ดีที่สุดที่เข้าด้วยกัน (วิธีการล่างขึ้นบน) โดยมีตัวแปรตัดสินใจคือค่าน้ำหนักของแต่ละเดือน (W_t) ข้อจำกัด (2) คือ ค่าพยากรณ์ในแต่ละเดือนคำนวณจากผลคูณของค่าน้ำหนักแต่ละเดือนกับผลรวมค่าพยากรณ์รายปีที่ได้จากการพยากรณ์แบบเฉพาะเข้าด้วยกัน ข้อจำกัด (3) และ (4) คือ ผลรวมของค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 และค่าน้ำหนักแต่ละเดือนอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยที่ค่าพยากรณ์โดยรวมคือผลรวมของค่าพยากรณ์แบบเฉพาะรายเดือนจากวิธีที่มี MAPE น้อยที่สุด

วิธีนี้หาค่าน้ำหนักที่ดีที่สุดเพื่อพยากรณ์ราคาในปีถัดไป (พ.ศ.2564) จากการสร้างแบบจำลองโดยใช้ Excel Spreadsheet จากนั้นแก้ปัญหาโดยหาค่าน้ำหนักในแต่ละเดือนที่ดีที่สุด เพื่อให้มี MAPE น้อยที่สุด โดยใช้ค่าพยากรณ์รวมรายปีจากข้อมูลราคาจริงรายเดือนรวมเป็นรายปี และ

วิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะที่ดีที่สุดที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเข้าด้วยกัน คือ การพยากรณ์แบบล่างขึ้นบน แสดงค่า MAPE ของการพยากรณ์แบบ Top-Down ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า MAPE ของการพยากรณ์แบบ Top-Down

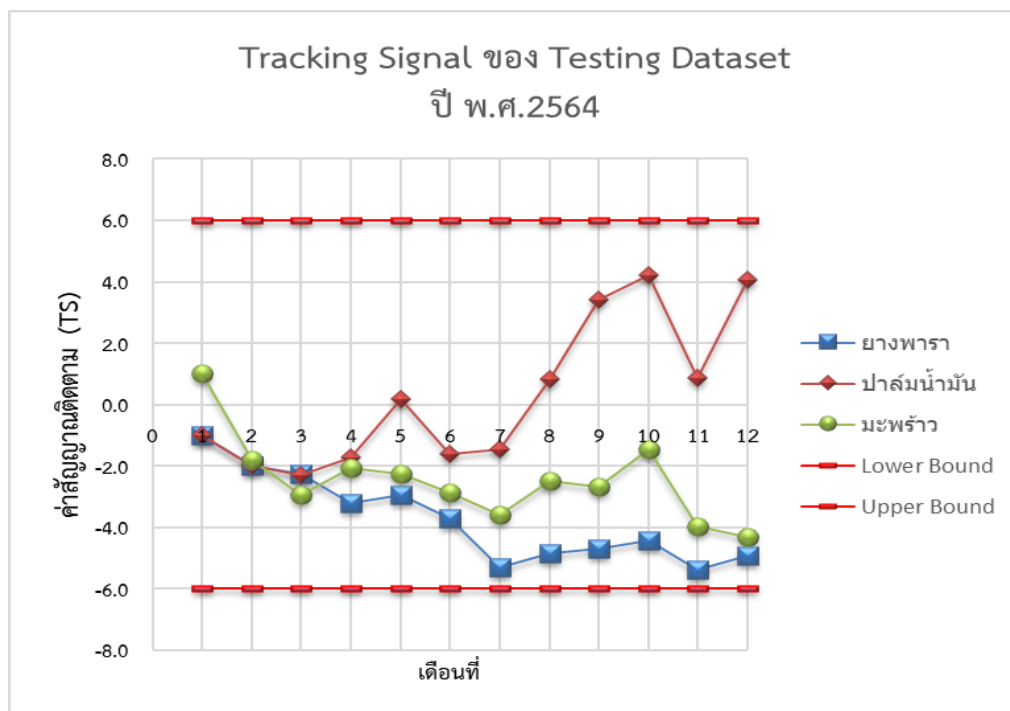
ชนิดของพืชสวน	MAPE (%)			
	Aggregate Forecast		Bottom-Up Forecast	
	การสร้าง แบบจำลอง	การทดสอบ แบบจำลอง	การสร้าง แบบจำลอง	การทดสอบ แบบจำลอง
ยางพารา	10.92	88.84	10.79	89.59
ปาล์มน้ำมัน	16.45	11.20	6.25	8.95
มะพร้าวแห้งผลใหญ่	16.13	10.09	7.02	9.55

การพยากรณ์ราคายางพาราใช้การพยากรณ์แบบ Damped Trend Non-Seasonal เนื่องจากมีค่า MAPE น้อยกว่าวิธีอื่น ๆ ค่า MAPE เท่ากับ 8.91% สำหรับการพยากรณ์ราคาปาล์มน้ำมัน พบว่าการพยากรณ์แบบ Top-Down เมื่อพิจารณาจากค่าการทดสอบแบบจำลอง พบว่า เลือกใช้การพยากรณ์แบบ Top-Down โดยค่าพยากรณ์รวมรายปีจากวิธี Bottom-Up ซึ่งให้ค่า MAPE เท่ากับ 8.95% และราคามะพร้าวแห้งผลใหญ่ เลือกใช้การพยากรณ์แบบ Top-Down โดยค่าพยากรณ์รวมรายปีจากวิธี Bottom-Up มีค่า MAPE เท่ากับ 9.55% แสดงผลสรุปการเลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์และค่า MAPE ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า MAPE ของการพยากรณ์ที่ดีที่สุด

ชนิดของพืชสวน	วิธีการพยากรณ์	MAPE (%)	
		การสร้าง แบบจำลอง	การทดสอบ แบบจำลอง
ยางพารา	Damped Trend Non-Seasonal	7.03	8.91
ปาล์มน้ำมัน	Top-Down	6.25	8.95
มะพร้าวแห้งผลใหญ่	Top-Down	7.02	9.55

เมื่อวิเคราะห์ค่าสัญญาณติดตามโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์จากตารางที่ 4 พบว่า ราคาที่ได้จากการพยากรณ์ของยางพารา ปาล์มน้ำมัน และมะพร้าวแห้งผลใหญ่ มีค่าสัญญาณติดตามในแต่ละเดือนของ ปี พ.ศ.2564 มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด $[-6, +6]$ แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ค่าสัญญาณติดตามเทียบกับราคาจริงด้วยวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุด ปี พ.ศ. 2564

5. สรุปผลการวิจัย

การพยากรณ์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผน หากสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำจะส่งผลให้การวางแผนมีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งช่วยทั้งเกษตรกร และโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับการพยากรณ์ราคารายเดือนของพืชสวน คือ ยางพารา ปาล์มน้ำมัน และมะพร้าวแห้งผลใหญ่ ได้ใช้วิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะเปรียบเทียบกับพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่างด้วยค่า MAPE และค่าสัญญาณติดตาม ซึ่งพบว่าการสร้างแบบจำลองของราคายางพาราใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบ Damped Trend Non-Seasonal ราคาปาล์มน้ำมันและราคามะพร้าวแห้งผลใหญ่ใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบบนลงล่าง มีค่า MAPE เท่ากับ 7.03% 6.25% และ 7.02% ตามลำดับ สำหรับการทดสอบแบบจำลองโดยใช้ค่าที่ได้จากการพยากรณ์เทียบกับราคาจริงในปี พ.ศ.2564 ราคายางพาราใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบ Damped Trend Non-Seasonal ราคาปาล์มน้ำมันและราคามะพร้าวแห้งผลใหญ่ใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบบนลงล่าง มีค่า MAPE เท่ากับ 8.91% 8.95% และ

9.55% ตามลำดับ ซึ่งการแปลผลถือว่าเป็นการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูง และเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าสัญญาณติดตามพบว่าทุกจุดอยู่ในช่วงที่กำหนด [-6, +6]

งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการพยากรณ์ราคาพืชสวนอื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผน และในอนาคตควรมีการวิจัยเพิ่มเติม โดยอาจพิจารณาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ใช้เทคนิคการพยากรณ์อื่น ๆ หรือผสมผสานระหว่างการพยากรณ์เชิงปริมาณและการพยากรณ์เชิงคุณภาพเพื่อให้เกิดความแม่นยำของการพยากรณ์มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ซอฟต์แวร์ทำวิจัย

References

- [1] Agricultural Research Development Agency. Horticulture [Internet]. [cited 2022 Jan 10]. Available from: <https://www.arda.or.th>
- [2] Agricultural Research Development Agency. New horticulture in Thailand [Internet]. [cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://www.arda.or.th>
- [3] Wikipedia. Oil palm [Internet]. [cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://th.wikipedia.org/>
- [4] Prasongsap S. Large dry coconut [Internet]. [cited 2022 Jan 13]. Available from: <http://hort.ezathai.org/>
- [5] Riansut W. Forecasting of coconut prices using the Box-Jenkins method. RMUTSB Academic Journal 2019;7(1):87-100. (In Thai)
- [6] Tanyarattanasrisakul M. The accuracy comparison of time series model between Winters' exponential smoothing and Box - Jenkins methods: A case study of forecasting garden coconut price. RMUTSB Academic Journal 2018;6(2):101-13. (In Thai)
- [7] Noosen P, Payakkapong P, Supapakorn A. A comparison of quantity production of petroleum forecasting models in Thailand. Science and Technology Journal 2015;23(3): 376-84. (In Thai)
- [8] Luangtong N, Kantanantha N. Selection of the appropriate agricultural yield forecasting models. Science and Technology Journal 2015;24(3):370-81. (In Thai)

- [9] Deepradit S, Ruksorn P. The forecasting techniques comparison of field crops in Thailand. The Journal of Industrial Technology 2021;17(3):214-31. (In Thai)
- [10] Hyndman RJ, Ahmed RA, Athanasopoulos G, Shang HL. Optimal combination forecasts for hierarchical time series. Computational Statistics & Data Analysis 2011;55(9):2579-89.
- [11] MirČetić D, Nikolić S, Stojanović Đ, Maslarić M. Modified top down approach for hierarchical forecasting in a beverage supply chain. Transportation Research Procedia 2017;22:193-202.
- [12] Karmy JP, Maldonado S. Hierarchical time series forecasting via support vector regression in the European travel retail industry. Expert Systems with Applications 2019;137:59-73.
- [13] Deepradit S, Ongkunaruk P, Pisuchpen R. The study of forecasting techniques for aromatic coconut monthly prices using individual and hierarchical Forecasting. Thai Journal of Operations Research 2020;8(2):15-26. (In Thai)
- [14] Montaña J, Palmer A, Sesé A, Cajal B. Using the R-MAPE Index as a resistant measure of forecast accuracy. Psicothema 2013;25(4): 500-506.
- [15] Ongkunaruk P. Introduction to supply chain management for agro-industry. Bangkok: The One Printing; 2019. (In Thai)
- [16] Riansut W. Forecasting model for egg's prices. Srinakharinwirot Research and Development Journal of Humanities and Social Sciences 2019;11(2):196-211. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



อาจารย์ ดร.ศิริประภา ดีประดิษฐ์ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 เบอร์ติดต่อ 089-856-8998 E-mail: d_siraprapha@aru.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ: Simulation, Operations Research, Supply Chain Management



อาจารย์ชนาธิป พรหมเพศ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
เลขที่ 96 ถนนปรีดีพนมยงค์ ตำบลประตูลี้ อำเภอพระนครศรีอยุธยา
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 เบอร์ติดต่อ 089-287-5422 E-mail:
pchanatip@aru.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ: Production Planning, Operation Research, DOE

Article History:

Received: February 8, 2022

Revised: April 21, 2022

Accepted: April 23, 2022

A BACKSTEPPING-LIKE CONGESTION TRACKING CONTROL FOR TCP/AQM SYSTEMS

Kruawan Wongsurith¹ Adirak Kanchanaharuthai², Somchai Poonyaniran³
and Pinit Ngamsom⁴

¹Lecturer, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University,
1761 Pattanakarn Rd. Suanluang Bangkok 10250 Thailand, kruawan2011@gmail.com

^{2,3}Lecturer, Department of Electrical Engineering, Rangsit University,
52/347 Phaholyothin Rd, Lak Hok, Muang District, Patumthani 12000 Thailand,
²adirak@rsu.ac.th, ³somchai.po@rsu.ac.th

⁴Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Rangsit University,
52/347 Phaholyothin Rd, Lak Hok, Muang District, Patumthani, 12000 Thailand,
ngamsomp@hotmail.com

ABSTRACT

This study is aimed to designing a backstepping-like controller for Transmission Control Protocol (TCP) network to deal with the Active Queue Management (AQM) problem. Based on this strategy, the design control law can be used to cope with the congestion tracking problem for a TCP/AQM nonlinear model. Furthermore, with the help of backstepping-like strategy, a nonlinear stabilizing feedback congestion controller is proposed to ensure that the queue length can track the desired queue length and that the window size is stable. The developed control design is validated in the MATLAB environment. The effectiveness of the proposed control is verified through simulation and compared with an integral sliding mode controller and a conventional sliding mode controller. The simulation results indicate that the presented strategy is able to not only solve the desired congestion tracking control problem, but also provide improved transient performances.

KEYWORDS: Nonlinear congestion control, backstepping-like control, TCP/AQM network.

1. Introduction

The Internet is now undergoing tremendous expansion, resulting in an inescapable network congestion management challenge in network traffic. Furthermore, it may cause

network collapse, lock-out behavior, and an increase in the likelihood of control-loop synchronization. As a result, several attempts are being made to address this issue. Recently, there has been a steady increase in interest in the topic of network congestion control. Fortunately, a significant and promising technique exists, which is called Active Queue Management (AQM) scheme. It has been suggested to reduce packet losses, ensure best-effort service with low packet drop, and increase network usage. Afterward, there are several AQM methods with different design ideas. The first AQM strategy proposed was Random Early Detection (RED) [1]. The main advantage of this technique is that the average queue length may be used to compute the chance of losing packets. Following that, a range of approaches [2-11] based on an analytical fluid-flow model for TCP/AQM systems were investigated to deal with network congestion problems. In [2], an LMI-based controller design was proposed by using a combination of robust active queue management and $\mathcal{H}_\infty$ control to ensure the queue length stability and to deal with robustness against the external disturbances and model perturbation. Mohammadi et al. [3] proposed a fuzzy-based PID controller of AQM network for Internet routers to alleviate packet losses and to enhance network utilization with input saturation. With the help of Lypunov-Krasovskii functional, a nonlinear model prediction congestion control approach [4] was developed for networks to cope with the adverse effects of nonlinear disturbance uncertainties, time-varying delay and input constraint. On basis of the minimax strategy, Li et al. [5] presented an adaptive backstepping congestion controller for TCP network with user datagram protocol (UDP) flows. Due to the unknown UDP flows regarded as the external disturbances, it is necessary to compute the minimax UDP flow. Based on a combination of integral backstepping design and minimax scheme, a nonlinear AQM controller [6] for TCP networks was reported to address the undesired effects of the disturbances arising from UDP flows. A nonlinear congestion tracking control strategy [7] for TCP/AQM network model was designed by using a combination of integral backstepping and $\mathcal{H}_\infty$ design. However, even if external disturbances and modeling uncertainties were included in the network model, the corresponding controller can guarantee satisfactory tracking performances of the queue, and all signals of the closed-loop system are asymptotically stable. To guarantee the desired transient and steady state performances, Wang et al. [8] presented an adaptive fuzzy funnel congestion control technique for TCP/AQM network to decrease the congestion tracking errors. Based on the minimax in game theory [9], a backstepping sliding mode design was

synthesized for nonlinear TCP network congestion systems including unknown parameter and external disturbances. With the aid of a coordination of practically finite-time theory and a prescribed performance control, an adaptive neural congestion control [10] for TCP/AQM networks was developed to ensure that the queue length track the reference queue length in finite-time. To cope with the noise and variance of the parameters, a sliding mode controller design [11] was designed for TCP/AQM network.

From the above-mentioned researches, it is observed that all nonlinear controller design techniques are rather difficult and complicated. Therefore, this paper continues this line of investigation but proposes an advanced nonlinear design to solve the congestion tracking control problem for the TCP/AQM network model. The developed controller in this paper is based on a backstepping-like strategy. The control objective of the backstepping-like method is to find a stabilizing feedback, which is similar to the backstepping approach [12]. This backstepping-like method relies on adding and subtracting some terms in each design step, which is rather simpler than other nonlinear control methods mentioned previously. Additionally, it can be applied to many practical control systems such as chaotic systems [13] and power systems [14-15].

As the above discussions, the followings are the main contributions of this work:

- Using a nonlinear TCP/AQM dynamic model, a backstepping-like control technique is proposed to solve the congestion tracking control problem for TCP/AQM network, which has not yet been investigated before,
- With the help of Lyapunov theory, the overall closed-loop system with the developed control law is asymptotically stable at a desired equilibrium point.
- In comparison with both integral sliding mode and conventional sliding mode controllers, the developed design procedure is not complicated, but effective. Also, the proposed controller indicates improved dynamic performances such as smaller overshoot and faster reduction of oscillation.

The rest of this paper is organized as follows. Section 2 is a brief presentation of dynamic model of the TCP/AQM network system and the problem statement. Nonlinear backstepping-like control design is provided in Section 3. In Section 4, the simulation results are given to show the effectiveness of the developed design. Finally, the paper is concluded in Section 5.

2. System Model for TCP/AQM networks

A dynamic model used in this paper depends on the fluid model of TCP congestion-avoidance method reported in [16]-[17]. In accordance with the result reported in [16,17], a nonlinear TCP/AQM model can be expressed as

$$\begin{aligned}\dot{W}(t) &= \frac{1}{R(t)}(1-p(t)) - \frac{W(t)}{2} \frac{W(t)}{R(t)} p(t), \\ \dot{q}(t) &= \frac{NW(t)}{R(t)} - C(t), q > 0 \\ R(t) &= T_p + \frac{q(t)}{C(t)}\end{aligned}\quad (1)$$

where $W(t) \in [W_{min}, W_{max}]$ denotes the TCP window size, $R(t)$ represents the round-trip delay, N is the number of TCP connections, $p(t)$ denotes the ratio of packets marked as dropping in the queue that satisfies $0 \leq p(t) \leq 1$, $q(t) \in [q_{min}, q_{max}]$ denotes the queue length, $C(t)$ represents the link capacity, T_p denotes the propagation delay. For this work, $C(t)$ is assumed constant, denoted by C .

In order to simplify the state-space equation of the system (1), let us define the following state variables:

$$x_1 = q - q_r, x_2 = -C + N \frac{W}{R} \quad (2)$$

Additionally, to guarantee that the queue length q can track the desired queue length q_r , let us define another state variable to guarantee the zero error between the queue length and the desired queue length as $x_0 = \int_0^t (q(\tau) - q_r) d\tau$ where q_r is constant. Therefore, the vector of the state variables used in this design procedure is defined as follows.

$$x = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int_0^t (q(\tau) - q_r(\tau)) d\tau \\ q - q_r \\ \frac{CNW}{(q + CT_p)} - C \end{bmatrix}.$$

By differentiating the state variables above, the dynamic model of the nonlinear TCP/AQM model can be expressed as an affine nonlinear system as follows.

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_0 &= x_1, \\
 \dot{x}_1 &= f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2, \\
 \dot{x}_2 &= f_2(x_1, x_2) + g_2(x_1, x_2)u,
 \end{aligned} \tag{3}$$

Where

$$\begin{aligned}
 f_1(x_1) &= 0, g_1(x_1) = 1, \\
 f_2(x_1, x_2) &= \frac{NC^2}{(x_1 + T_p C)^2} - \frac{(x_2 + C)x_2}{RC}, g_2(x_1, x_2) = -\frac{(x_2 + C)^2}{2N}, u = p(t),
 \end{aligned} \tag{4}$$

Define the region of operation as the set $\mathcal{D} = \{x \in \mathbb{R} \times \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+\}$. $x_e = [x_{1e}, x_{2e}, x_{3e}]^T = [0, 0, 0]^T$ represents the open loop operating equilibrium point.

Remark 1: Throughout this work, we assume that all parameters of the nonlinear TCP/AQM are constant and known. For the future work, the authors will extend this approach to a nonlinear TCP/AQM networks model including unknown parameters.

Problem statement: The objective of this work is to find out a nonlinear stabilizing feedback control law $u(x)$ with the help of a backstepping-like methodology such that the resulting closed-loop dynamics are asymptotically stable at the desired equilibrium point x_e and $x \rightarrow x_e$ as $t \rightarrow \infty$. Additionally, the developed controller needs to satisfy (i) the zero error between the queue length and the reference queue one (ii) the window size is stable, and (iii) the control input is small or lies within the interval $[0, 1]$.

3. Controller Design

For the purpose of designing a nonlinear stabilizing feedback u such that $\lim_{t \rightarrow +\infty} x_0 = \lim_{t \rightarrow +\infty} x_1 = \lim_{t \rightarrow +\infty} x_2 = 0$. With the help of the backstepping-like scheme, the control law is developed step by step below.

Step 1: let us take the following Lyapunov candidate as follows:

$$V_0 = \frac{1}{2} x_0^2 \tag{5}$$

By taking the derivative of (5) and then adding and subtracting the term c_0x_0 to $\dot{x}_0$, we have

$$\dot{V}_1 = x_0\dot{x}_1 = x_0(x_1 - c_0x_0 + c_0x_0) = -c_0x_0^2 + x_0P, \quad (6)$$

where $c_0 > 0$ and $P = c_0x_0 + x_1$. From (6), it is simple to see that the term x_0P is not always negative; thus, this term should be eliminated from the aforementioned equation.

Step 2: In order to do this, the Lyapunov function candidate is defined as:

$$V_1 = \frac{1}{2}x_0^2 + \frac{1}{2}P^2 \quad (7)$$

After taking the derivative of (7), one obtains

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= -c_0x_0^2 + x_0P + P\dot{P} \\ &= -c_0x_0^2 + P(x_0 + \dot{P}) = -c_0x_0^2 + P(x_0 + c_0x_1 + \dot{x}_1 - c_1P + c_1P) \\ &= -c_0x_0^2 - c_1P^2 + P(x_0 + c_0x_1 + c_1P + f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2) \\ &= -c_0x_0^2 - c_1P^2 + PQ \end{aligned} \quad (8)$$

where $c_1 > 0$ and $\dot{P} = c_0x_1 + \dot{x}_1$, $Q = x_0 + c_0x_1 + c_1P + f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2$.

Step 3: Similarly, it can be seen that the last term of (8) is not always negative; thus, it should be cancelled. To this end, we introduce the following term into V_2 and then obtain

$$V_2 = \frac{1}{2}x_0^2 + \frac{1}{2}P^2 + \frac{1}{2}Q^2 \quad (9)$$

By computing the derivative of (9) along the system trajectory, one obtains

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= -c_0x_0^2 - c_1P^2 + PQ + Q\dot{Q} \\ &= -c_0x_0^2 - c_1P^2 + Q(P + \dot{Q}) \\ &= -c_0x_0^2 - c_1P^2 + Q(P + \dot{x}_0 + c_0\dot{x}_1 + c_1\dot{P} + \dot{f}_1(x_1) + \dot{g}_1(x_1)x_2 + g_1(x_1)\dot{x}_2) \end{aligned} \quad (10)$$

After pluggin $\dot{x}_2$ back into (10), we have

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 = & -c_0 x_0^2 - c_1 P^2 \\ & + Q \left(P + \dot{x}_0 + c_0 \dot{x}_1 + c_1 \dot{P} + \dot{f}_1(x_1) + \dot{g}_1(x_1)x_2 + g_1(x_1)(f_2(x_1, x_2) + g_2(x_1, x_2)u) \right) \end{aligned} \quad (11)$$

Therefore, if we choose

$$u = \frac{-1}{g_2(x_1, x_2)} \left[\frac{c_2 Q + P + \dot{x}_0 + c_0 \dot{x}_1 + c_1 \dot{P} + \dot{f}_1(x_1) + \dot{g}_1(x_1)x_2}{g_1(x_1)} + f_2(x_1, x_2) \right] \quad (12)$$

where $\dot{P} = c_0 \dot{x}_1 + \dot{f}_1(x_1) + g_1(x_1)x_2$,

Then, under the feedback control law (12), the equation (11) turns into

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 = & -c_0 x_1^2 - c_1 P^2 - c_2 Q^2 \leq 0, \\ & \leq -cV_2. \end{aligned} \quad (13)$$

where $c = \min\{c_0, c_1, c_2\}$

With the help of Lyapunov stability theory [18], it is obvious that

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow +\infty} x_0 &= 0, \\ \lim_{t \rightarrow +\infty} P &= \lim_{t \rightarrow +\infty} (c_1 x_1 + x_2) = 0, \\ \lim_{t \rightarrow +\infty} Q &= \lim_{t \rightarrow +\infty} [x_0 + c_0 x_1 + c_1 P + f_1(x_1) + g_1(x_1)x_2] = 0, \end{aligned} \quad (14)$$

These also imply that $\lim_{t \rightarrow +\infty} x_0 = \lim_{t \rightarrow +\infty} x_1 = \lim_{t \rightarrow +\infty} x_2 = 0$. According to the above-mentioned results, the following theorem obvious holds.

Theorem 1: Consider the nonlinear TQM/AQM network model in (3)-(4). If the nonlinear controller is designed by (12), then the equilibrium point x_e of the system (3)-(4) is asymptotically stable. This implies that $\lim_{t \rightarrow +\infty} x_i = 0, (i=1, 2, 3)$.

Proof: The proof of Theorem 1 is based on the argument given above.

Figure 1 shows its structure involved in its implementation of the proposed control.

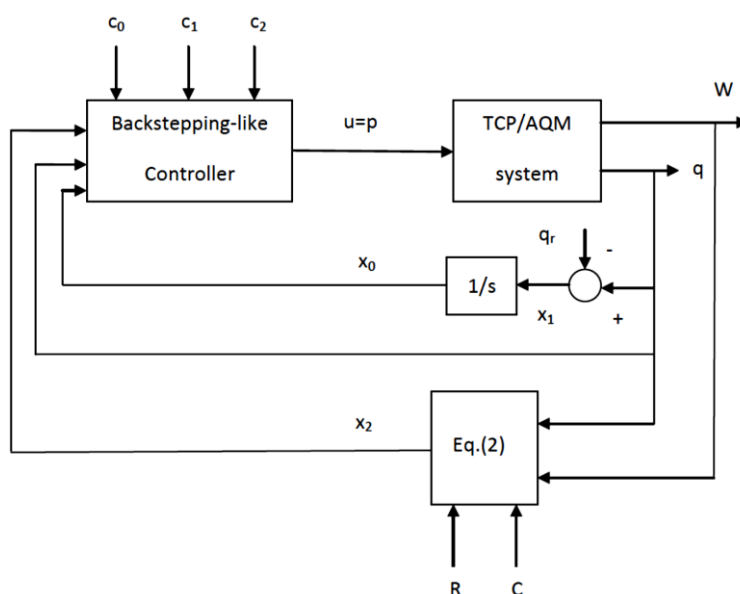


Figure 1 Block diagram of the proposed backstepping strategy for the TCP/AQM system.

4. Simulation Results

The presented design strategy is applied for nonlinear TCP/AQM network system. The desirable transient performances of the control system are illustrated to achieve the dynamic performance improvement and tracking congestion control. The MATLAB environment is used for the time-domain simulation of the controlled system. The parameters of the networks utilized in this paper are as follows.

$$C = 1750 \text{ parameter/s}, T_p = 0.1 \text{ s}, N = 60, W = 4.58 \text{ packets.}$$

The initial state variables are set as $[x_0 \ x_1 \ x_2]^T = [0 \ 95 \ 5]^T$ and the desired queue length is given as $q_r = 100$ packets. The tuning parameters of the designed controller are $c_0 = c_1 = c_2 = 0.5$.

The simulation results are used to exhibit the effectiveness and superiority of the developed scheme by using the following issues: (i) the zero error between the queue length and the reference queue one (ii) the window size is stable, and (iii) the control input is bounded within the interval $[0,1]$. Besides, the proposed control scheme (backstepping-like control) is compared with the following two nonlinear controllers:

- Integral sliding mode controller (ISDM)

$$u = p = - \frac{(K \text{sign}(S) + c_1 (\dot{f}_1(x_1) + g_1(x_1)x_2) + c_2 \dot{f}_2(x_1, x_2))}{c_2 g_2(x_1, x_2)} \quad (15)$$

where $S(x) = c_1 x_1 + c_2 x_2$. The control parameters of the integral sliding mode design are set as: $c_1 = c_2 = 1$.

- Sliding mode controller (SDM)

$$u = p = - \frac{(K \text{sign}(S) + cz_2 + \dot{f}_1(x_1) + \dot{g}_1(x_1)x_2 + g_1(x_1)\dot{f}_2(x_1, x_2))}{g_1(x_1)g_2(x_1, x_2)} \quad (16)$$

where $S(x) = cz_1 + z_2$, $z_1 = x_1$, $z_2 = \dot{f}_1(x_1) + g_1(x_1)x_2$ and $g_1(x_1)g_2(x_1, x_2) \neq 0$. The control parameters of the integral sliding mode design are set as: $c = 1$.

Remark 2: It is observed from both the ISDM and the SDM controllers that the sliding surface may be not uniquely selected differently, leading to different dynamic performances. However, it is obvious that the developed scheme is not only systematic, but also simple and effective.

The simulation results are discussed and given in Figures 2-4. To indicate the effectiveness of the proposed controller through the simulations, time responses of the integral of tracking error x_0 , the queue length q , the window size W , the state variable x_2 and the packet loss ratio under the developed design are presented in Figures 1. Under the ISDM and the SDM techniques, Figures 2-4 exhibits time responses of the integral of tracking error x_0 , the queue length q , the window size W , the state variable x_2 and the packet loss ratio.

It can be observed from Figures 2-4 that under the developed scheme, the time response of the queue length q smoothly settles down to the desired queue length q_r while those of the other schemes cannot. From Figures 2-3, the integral of tracking error x_0 under the proposed control converges to zero while that of the ISDM control still oscillates and cannot settle down to zero. It is apparent from three controllers that the window size W are all stable, the state variables x_2 converge to the equilibrium point, and the packet loss ratios (the control input) are bounded with the interval $[0,1]$, as desired. It can be seen that the

presented control law enables us to improve dynamic performances more than the other two approaches. In particular, it is seen that with based on the proposed design, the tracking error can rapidly converge to zero. This means that the queue length q smoothly tracks the desired queue length q_r . Also, dynamic (transient) performances, such as the reduction of oscillatory overshoot, smaller rising time, and shorter settling time, are clearly enhanced.

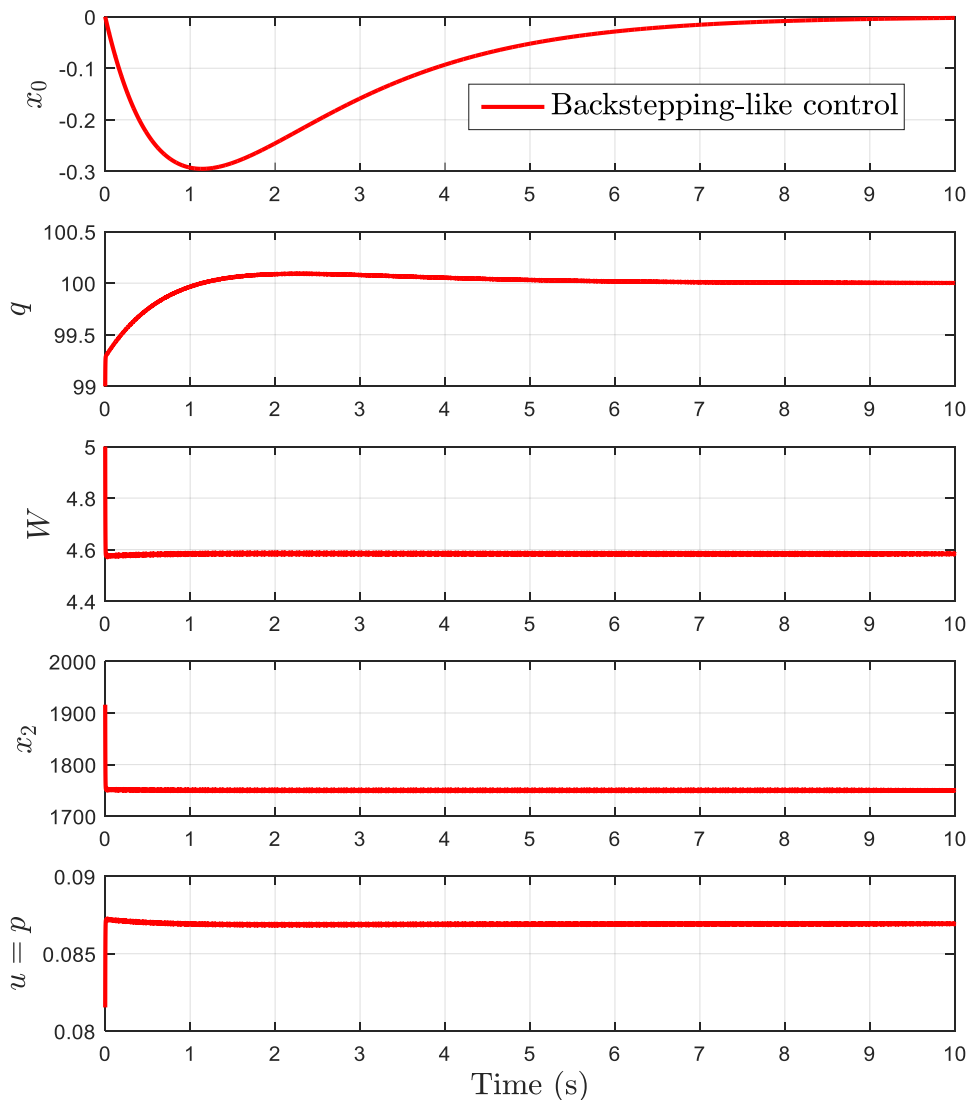


Figure 2 Time responses of the integral term x_0 , the queue length q , the window size W , the state variable x_2 , and the ratio of packets marked as dropping in the queue (control input) $u = p$

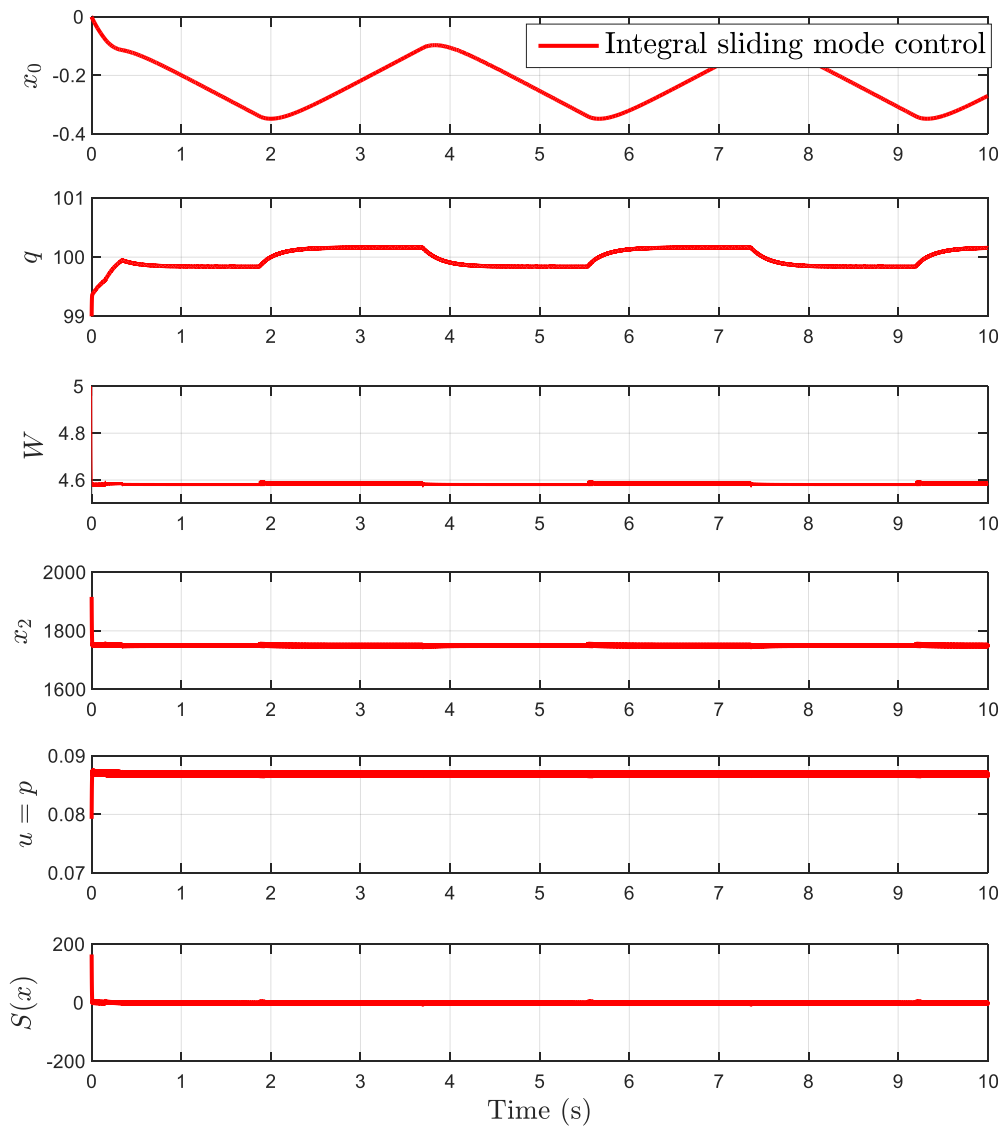


Figure 3 Time responses of the integral term x_0 , the queue length q , the window size W , the state variable x_2 , and the ratio of packets marked as dropping in the queue (control input) $u = p$

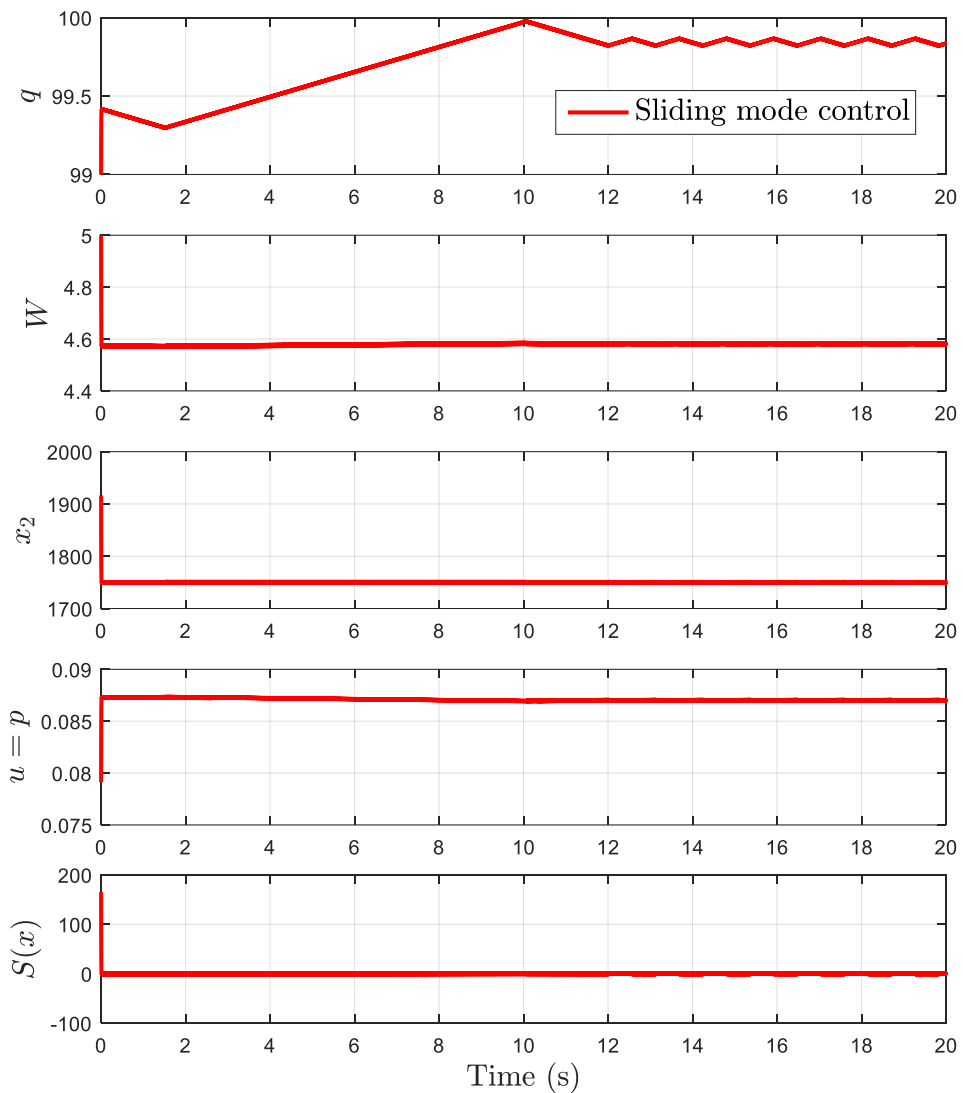


Figure 4 Time responses of the integral term x_0 , the queue length q , the window size W , the state variable x_2 , and the ratio of packets marked as dropping in the queue (control input) $u = p$

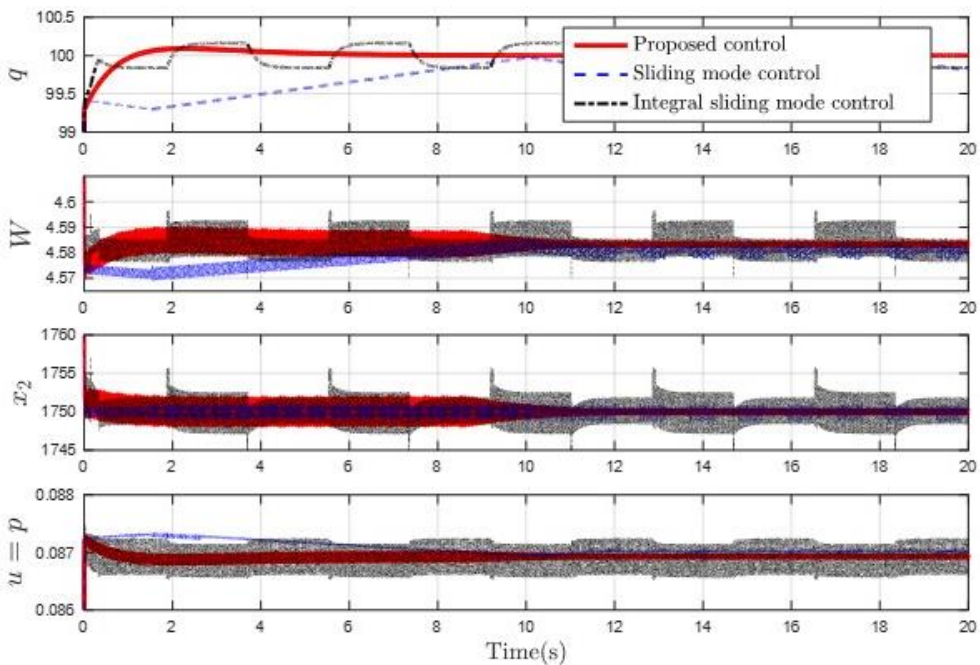


Figure 5 Time responses of the queue length q , the window size W , the state variable x_2 , and the ratio of packets marked as dropping in the queue (control input) $u = p$ (Solid: the proposed backstepping-like control, Dotted: Sliding mode control, Dashdotted: Integral sliding mode control)

Note that although the other controllers can accomplish the desired requirements mentioned in the objective of this paper, they provide rather poor transient performances as compared with the developed controller. It is seen from Figures 3-4 that the tracking error between the queue length and the desired queue length does not converge to zero due to the chattering effects. Apart from that, the sliding surfaces $S(x)$ of both the ISDM and the SDM techniques do not settle down to zero. However, both still have unavoidable chattering effects. Figure 5 shows time responses of the queue length q , the window size W , the state variable x_2 , and the ratio of packets marked as dropping in the queue (control input) under the proposed control, the SDM, and the ISDM control methods. It is worth noting that the queue length of the developed control converges to the desired queue while the SDM method does not approach the desired queue and the ISDM control method oscillates around the desired queue instead. Furthermore, time responses of the SDM and ISDM techniques

exhibit the undesirable chattering behavior as a result of the sign function used in equations (15)-(16), whereas the designed method does not.

From these figure 2-5, it is evident that the developed control offers significantly fast suppression of oscillation, shorter settling time, and smaller rise time as compared with both the SDM and the ISDM. Therefore, it can enhance transient performances. Further, it is straightforward to conclude that the performance of the presented backstepping-like control is superior to that the SDM and the ISDM control methods.

5. Conclusions

A nonlinear stabilizing feedback control law has been proposed via a backstepping-like strategy. The design procedure is simple but effective. Improved dynamic performances such as smaller overshoot, smaller rise time, and shorter settling time have been achieved with the help of the developed control method. The controller design procedure has shown that the proposed scheme is rather easier compared with both the ISDM control and the SDM one because it is not necessary to select the sliding surfaces. The presented control law also offers satisfactory transient performances and outperforms the rest of controllers. Moreover, the simulations exhibit the effectiveness and superiority of the developed controller over both the ISDM control and the SDM one in terms of dynamic (transient) performances. In the future study, this approach can be extended to the TCP/AQM network model including unknown parameters.

References

- [1] Floyd S, Jacobson V. Random early detection gateways for congestion avoidance. IEEE/ACM Transaction Networking 1993;1:397-413.
- [2] Zhou C, He J, Chen Q. A robust active queue management scheme for network congestion. Computer and Electrical Engineering 2013;39:285-94.
- [3] Mohammadi S, Pour HM, Jafari M, Javadi A. Fuzzy-based PID active queue manager for TCP/IP networks. Proceedings of the 10th International Conference on Information Science, Signal Processing and their Applications; 2010; Kuala Lumpur, Malaysia. p. 434-9.
- [4] Han C, Li M, Jing Y, Lei L, Pang Z, Sun D. Nonlinear model predictive congestion control for networks. Vol. 50, New York and London: IFAC-PapersOnline; 2017. p. 552-7.

- [5] Li ZH, Liu Y, and Jing YW. Design of adaptive backstepping congestion controller for TCP networks with UDP flows based on minimax. *ISA Transactions* 2019;95:27-34.
- [6] Li ZH, Liu Y, and Jing YW. Active queue management algorithm for TCP networks with integral backstepping and minimax. *International Journal of Control and Automation* 2019;17:1059-66.
- [7] Liu Y, Liu X, Jing Y, Zhang Z, Chen X. Congestion tracking control for uncertain TCP/AQM network based on integral backstepping. *ISA Transactions* 2019;89:131-8.
- [8] Wang K, Liu Y, Liu X, Jing Y, Zhang S. Adaptive fuzzy funnel congestion control for TCP/AQM network. *ISA Transactions* 2019;95:11-7.
- [9] Wang K, Jing Y, Zhang S. Minimax controller design based on backstepping sliding mode for TCP network systems. *Proceedings of the 29th Chinese Control and Decision Conference*; 2017; Chongqing, China. p. 764-8.
- [10] Liu Y, Jing Y, Chen X. Adaptive neural practically finite-time congestion control for TCP/AQM network. *Neurocomputing* 2019;351:26-32.
- [11] Jalili-Kharaajoo M. Sliding mode queue management in TCP/AQM networks. *Proceedings of International conference on Telecommunication*; 2004. p. 638-43.
- [12] Krstic M, Kanellakopoulos I, Kokotovic PV. *Nonlinear and Adaptive Control Design*. n.p.: John Wiley & Sons; 1995.
- [13] Luo R. The robust adaptive control of chaotic systems with unknown parameters and external disturbance via a scalar input. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing* 2015;29:1296-307.
- [14] Kanchanaharuthai A, Boonyaprapasorn A. A backstepping-like approach to coordinated excitation and STATOM control for power systems. *International Review of Automatic Control* 2016;9:64-71.
- [15] Kanchanaharuthai A, Mujjalinvimut E. Transient stability enhancement and voltage regulation for power systems with STATCOM via a backstepping-like scheme. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control* 2021;17:701-14.
- [16] Misra V, Gong WB, Towsley D. Fluid-based analysis of a network of AQM routers supporting TCP flows with an application to RED. *Proceedings of ACM/SIGCOMM*; 2000. p. 151-60.
- [17] Hollot CV, Misra V, Towsley D, Gong WB. Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows. *IEEE Transactions on Automation Control* 2002;47:945-59.

[18] Khalil HK. Nonlinear Systems, 3rd ed. Hoboken, New Jersey: Prentice-Hall; 2002.

Author's Profile



Kruawan Wongsurith received the M. Sc. degree in Chemistry from Srinakharinwirot University, Thailand, in 1994. She is currently a lecturer in the faculty of engineering at Kasem Bundit University, Thailand. Her main research interests include nonlinear dynamics and applications of control system design to chemistry process



Adirak Kanchanaharuthai, faculty of the Department of Electrical Engineering at Rangsit University, Thailand. His main research interests include power system dynamics, stability and control, and congestion tracking control for TCP/AQM network systems.



Somchai Poonyaniran, faculty of the Department of Electrical Engineering at Rangsit University, Thailand. His main research interests include communication system and control.



Pinit Ngamsom received Ph.D. in Mechanical Engineering from Oklahoma State University, U.S.A. in 2001. He is now with Department of Mechanical Engineering at Rangsit University, Thailand. His main research interests include robotics and control systems.

Article History:

Received: February 8, 2022

Revised: April 25, 2022

Accepted: April 25, 2022

การพัฒนาราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล

DEVELOPMENT OF RECYCLED PLASTIC GUARDRAIL

กীরติกร อินทรักษ์¹ ชลัท ทิพากรเกียรติ² นันทชัย ชูศิลป์³ และ จริญญา เจริญเนตรกุล⁴

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2/4 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อหย่าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000,
keetikorn52@hotmail.com

^{2, 3, 4}อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อหย่าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000,

²chalat.t@rmuts.ac.th, ³nuntachai.c@rmuts.ac.th, ⁴charoon.c@rmuts.ac.th

Keetikorn Intarak¹, Chalat Tipakornkiat² Nuntachai Chusilp³ and Charoon Charoennetkul⁴

¹Master Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala
University of Technology Srivijaya Songkhla Campus, 2/4 Ratchadamnoennok Rd.,
Boyang Sub-district, Muang District, Songkhla 90000, Thailand, Keetikorn52@hotmail.com

^{2, 3, 4}Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala
University of Technology Srivijaya Songkhla Campus, 2/4 Ratchadamnoennok Rd.,
Boyang Sub-district, Muang District, Songkhla 90000, Thailand,

²chalat.t@rmuts.ac.th, ³nuntachai.c@rmuts.ac.th, ⁴charoon.c@rmuts.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาลักษณะการรับน้ำหนักของราวกันอันตราย (Guardrail) จากพลาสติกรีไซเคิล โดยเริ่มจากใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Robot Structural Analysis ทำแบบจำลองราวกันอันตรายขึ้นมา ประกอบด้วยพลาสติกชนิดต่างๆ ดังนี้ 1) High Density Polyethylene (HDPE) 2) Low density polyethylene (LDPE) 3) Polypropylene (PP) 4) Polystyrene (PS) 5) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของราวกันอันตราย ตามมาตรฐาน NCHRP 350 (TL-3) จากผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม พบว่า พลาสติกชนิด ABS และชนิด PS มีค่า Deformation ที่น้อยกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ จึงนำพลาสติกทั้งคู่ไปพัฒนาขึ้นรูปเป็นราวกันอันตราย พลาสติกตัวต้นแบบ ด้วยเครื่อง Single Screw Extruder ให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1.0 m X 0.3 m X 0.01 m จำนวนทั้งหมด 40 ชิ้น นำชิ้นงานไปทดสอบแรงดัด (Flexural Strength Test) พบว่า ราวกันอันตรายชนิด ABS ได้กำลังดัดเฉลี่ยเท่ากับ 1.099 kN/mm และชนิด PS ได้กำลังดัด

เฉลี่ยเท่ากับ 0.672 kN/mm และชนิด ABS + PS ได้กำลังดัดเฉลี่ยเท่ากับ 1.496 kN/mm จากนั้นนำไปทดสอบด้วยวิธีการชนหรือ โมเมนตัม (Momentum Test) ด้วยลูกตุ้มที่มีมวลขนาด 101 kg ความเร็วในการทดสอบ 20 km/h พบว่าชนิด ABS มีระยะ Deflection เฉลี่ยอยู่ที่ 86.99 mm ชนิด PS มีระยะ Deflection เฉลี่ยอยู่ที่ 57.08 mm และชนิด ABS + PS ได้ระยะ Deflection เฉลี่ยเท่ากับ 101.31 mm และสามารถประคองลูกตุ้มให้กลับสู่ตำแหน่งเดิมได้หลังจากทำการทดสอบโดยไม่ทะลุผ่านราวกันกั้นอันตราย

คำสำคัญ: ราวกันอันตราย, NCHRP 350, การทดสอบโมเมนตัม

ABSTRACT

The objective of this research is to study the replacement of Guardrail from recycled plastic. It started by using a computer program Robot Structural Analysis to make a model of the guardrail. It consists of various types of plastics as follows: 1) High Density Polyethylene (HDPE) 2) Low density polyethylene (LDPE) 3) Polypropylene (PP) 4) Polystyrene (PS) 5) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) to analyze the guardrail performance. according to NCHRP 350 (TL-3) standard, the results of the program analysis showed that ABS and PS plastics had lower deformation values than other plastics. Therefore, both pairs of plastic were used to develop plastic forming with a Single Screw Extruder into a rectangular shape with dimensions of 1.0 m X 0.3 m X 0.01 m Total amount of 40 pieces were taken to test the Flexural Strength Test, found that The ABS type has an average Flexural Strength of 1.099 kN/mm, and the PS type has an average Flexural Strength of 0.672 kN/mm and the ABS + PS type has an average Flexural strength of 1.496 kN/mm The momentum test was performed with a pendulum with a mass of 101 kg The test speed was 20 km/h It was found that the ABS type had an average deflection distance of 86.99 mm The PS type had an average deflection distance of 57.08 mm and the ABS + PS type has an average deflection distance of 101.31 mm and able to redirect the pendulum to its original position after testing without breaking through the guardrail

KEYWORDS: Guardrail, NCHRP 350, Momentum Test

1. บทนำ

ร่างแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 13 (พ.ศ.2566-2570) [1] ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับความปลอดภัยในการจราจรและการใช้รถใช้ถนนของประชากรวัยเด็กและวัยแรงงาน โดย

ให้ทุกภาคส่วนหาแนวทางในการป้องกันและจัดการกับปัญหาอุบัติเหตุทางถนนอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะในปี พ.ศ.2563 ประเทศไทยถูกจัดอันดับให้เป็นประเทศที่มีอัตราการเสียชีวิตสูงเป็นอันดับที่สองของโลก โดยมีอัตราการเสียชีวิตอยู่ที่ 32.7 ต่อประชากรหนึ่งแสนคน [2] หากจำแนกตามการเกิดอุบัติเหตุ โดยประเมินจากการจำแนกความเสียหายของทรัพย์สิน ของกรมทางหลวงในปีพ.ศ.2563 [3] พบว่า ผู้ประสบเหตุประเภทหลุดออกข้างทางจะไปชนราวกันอันตราย รั้วริมทาง หลักกันโค้ง และอุปกรณ์กันชน เกิดอุบัติเหตุรวมกันถึง 2,274 ครั้ง ซึ่งเป็นปัจจัยในการเพิ่มความรุนแรง อันนำไปสู่การเสียชีวิตถึง 81 ราย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุบัติเหตุบนทางหลวง จำแนกตามความเสียหายทรัพย์สิน ของกรมทางหลวง ในปี 2563 [3]

ประเภททรัพย์สิน	อุบัติเหตุที่ทรัพย์สินเสียหาย	
	อุบัติเหตุ (ครั้ง)	เกิดการตาย (ราย)
ป้ายจราจร/ป้ายทางหลวง	2,564	110
ราวกันอันตราย/รั้วริมทาง/หลักกันโค้ง/อุปกรณ์กันชน	2,274	81
อุปกรณ์ไฟฟ้าและไฟฟ้าแสงสว่าง	3,858	148
อุปกรณ์สัญญาณและสัญญาณไฟจราจร	668	25
ผิวจราจร/คันทาง	140	8
สะพาน	104	8
หลัก กม./หลักเขตทาง	511	29
เกาะ/รั้วกั้นกลางถนน	509	19
ต้นไม้	293	11
ศาลาทางหลวง	103	4
อื่นๆ	60	5
รวมรายการทรัพย์สินที่ถูกชน	11,084	448

ปัจจุบันมีนวัตกรรมลดความรุนแรงจากอุบัติเหตุข้างทาง โดยใช้วัสดุพลาสติกนำมาประกอบเป็นราวกันอันตรายที่ใช้งานจริงได้ในต่างประเทศได้แก่ 1) สาธารณรัฐประชาชนจีน 2) สาธารณรัฐเกาหลี 3) ประเทศไต้หวัน [4-6] โดยมีข้อดีดังต่อไปนี้ ประการที่หนึ่ง ต้นทุนในการผลิตมีราคาที่ถูก

กว่าราวกันอันตรายที่ทำจากเหล็ก ประการที่สอง ลักษณะทางกายภาพมีความยืดหยุ่นกว่าเหล็ก ดังนั้นจึงดูดซับแรงกระแทกจากการชนของยานพาหนะทำให้เกิดความเสียหายอย่างมาก ประการที่สาม ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ นอกจากนี้ยังมีข้อดีของพลาสติก เช่น สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ และช่วยลดปัญหาขยะจากพลาสติกที่เกิดขึ้นในประเทศ ประกอบกับ ปัญหาขยะในประเทศไทยมีปริมาณขยะสูงขึ้นต่อเนื่องขึ้นทุกปี

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดโครงการพัฒนาราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิลโดยมี เป้าหมายเพื่อ สร้างนวัตกรรมที่ลดการบาดเจ็บและเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนน และร่วมลดปัญหาขยะจาก พลาสติกโดยการนำกลับมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างคุณค่าในตัวเองและช่วยชุมชนให้ ปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โดยจะทำการพัฒนาให้เป็นราวกันอันตรายตัวต้นแบบ ที่เหมาะสมสำหรับบริเวณ ถนนที่ผ่านเขตชุมชน และใช้รถในการสัญจรด้วยความเร็วต่ำโดยมีหลักในการทดสอบการชนของ อุปกรณ์จากการทดสอบจากการจำลองด้วยโปรแกรมและนำไปสู่การทดสอบจริงในภาคสนาม

การทดสอบการชน (Crash Test) เป็นกระบวนการสำคัญเพื่อประเมินถึงประสิทธิภาพ ความปลอดภัยของ อุปกรณ์กันและอุปกรณ์ลดความรุนแรง โดยจำเป็นจะต้องมีการกำหนดปัจจัย และตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้ผลการทดสอบการชนมี ความเหมาะสมและได้รับการยอมรับจากทุกฝ่าย ทั้งนี้ ในสหรัฐอเมริกากำหนดให้อุปกรณ์กันจะต้อง ผ่านการทดสอบการชนตามมาตรฐาน NCHRP 350 ในขณะที่สหภาพยุโรปเลือกใช้มาตรฐาน EN 1317 ในการทดสอบนั้น มีปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมในการทดสอบ (Testing Conditions) ได้แก่ ประเภทและน้ำหนักของรถทดสอบ ความเร็ว มุมชน ตำแหน่งที่ปะทะของอุปกรณ์ เนื่องจากการนำ รถมาชนกับอุปกรณ์ราวกันอันตรายจริงในสนามเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายที่สูง ทางผู้วิจัยจึง เลือกใช้การจำลองด้วยโปรแกรม Robot Structural Analysis เพื่อเป็นการวิเคราะห์ในทาง กลศาสตร์แทน โดยทำการแปลงน้ำหนักรถ ความเร็ว และมุมการชน โดยใช้ทฤษฎีทางฟิสิกส์มา ทำการศึกษาผลของค่าการโก่งตัวของราวกันอันตรายจากโปรแกรม จากนั้นจึงนำไปสู่การทดสอบ ในสนามอีกครั้ง

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 2.1) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพลาสติกรีไซเคิล
- 2.2) เพื่อพัฒนาราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนได้แก่

1) การวิเคราะห์การออกแบบราวกันอันตรายด้วยโปรแกรม Robot Structural Analysis จะทำการวิเคราะห์ออกแบบโดยทางผู้วิจัยเลือกใช้มาตรฐาน NCHRP 350 ที่ระดับ (TL-3) เนื่องจากผู้วิจัยเลือกการจำลองเป็นราวกันอันตรายรูปตัว W แบบเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้เสาแบบอ่อน (Modified W-Beam Weak Post Guardrail) ราวกันอันตรายประเภทนี้เป็นแบบเพิ่มประสิทธิภาพและเป็นอุปกรณ์กันแบบยืดหยุ่น และคัดเลือกชนิดของพลาสติกชนิดที่เหมาะสมที่สุด โดยมีกลุ่มพลาสติกตัวอย่างดังนี้ 1) High Density Polyethylene (HDPE) 2) Low density polyethylene (LDPE) 3) Polypropylene (PP) 4) Polystyrene (PS) 5) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) การวิเคราะห์หาค่าการโก่งตัวทางด้านข้างของราวกันอันตราย ต้องทราบค่าของแรงและมุมที่กระทำต่อแนวระนาบราวกันอันตราย โดยที่มาตรฐาน NCHRP 350 ที่ระดับการชน TL3 ได้กำหนดค่ามาตรฐานในการทดสอบ ซึ่งจะให้ค่าน้ำหนักของรถ มุมที่กระทำต่อแนวระนาบราวกันชนและความเร็ว จะเห็นได้ว่าไม่มีค่าของแรงให้เท่ากับมาตรฐานการทดสอบ ดังนั้นในการที่จะทราบค่าของแรงที่กระทำต่อราวกันอันตรายจึงจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีดังนี้

$$\text{โมเมนตัม} = \text{มวล} \times \text{ความเร็ว} \quad (1)$$

2) กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบ Extrusion ให้เป็นราวกันอันตราย เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1.0 m X 0.3 m X 0.01m

3) การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength Test) ชนิดพลาสติก 1) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) 2) Polystyrene (PS) และ 3) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) + Polystyrene (PS) แต่ละชนิดจำนวน 5 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทั้งหมด 15 ชิ้น

4) การทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum test) ชนิดพลาสติก 1) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) 2) Polystyrene (PS) และ 3) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) + Polystyrene (PS) แต่ละชนิดจำนวน 5 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทั้งหมด 15 ชิ้น โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.1 การวิเคราะห์การออกแบบราวกันอันตรายด้วยโปรแกรม Robot Structural Analysis

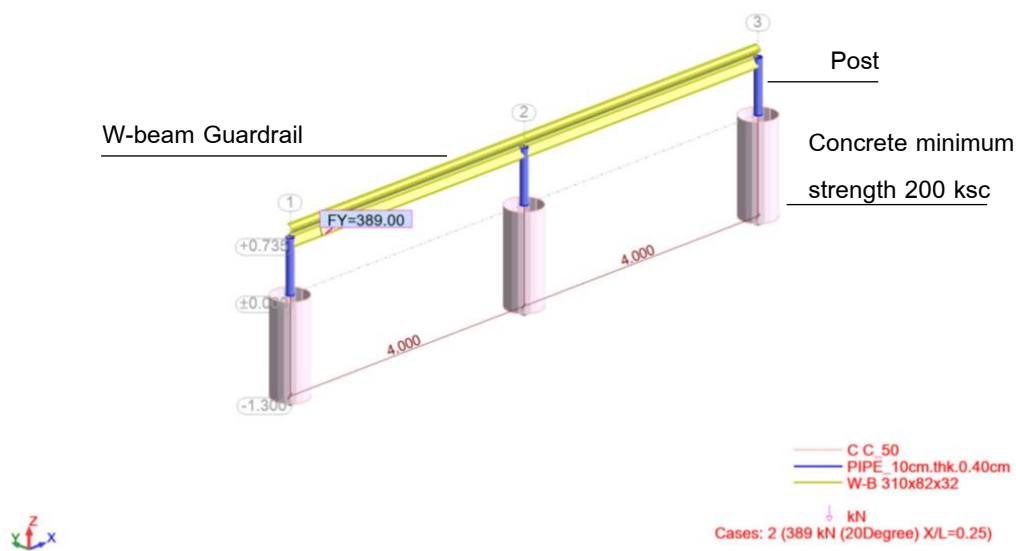
กระบวนการวิเคราะห์การออกแบบราวกันอันตราย จะทำการวิเคราะห์ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Robot Structural Analysis [7, 8] เพื่อใช้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลว่าพลาสติกชนิดใดเหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นราวกันอันตรายได้อย่างเหมาะสม โดยนำค่าคุณสมบัติของ plastic property ไปป้อนลงในโปรแกรมโดยทำการคัดเลือกชนิดพลาสติกมาป้อนข้อมูลทั้งหมด 5 ชนิดได้แก่พลาสติกชนิด 1) High Density Polyethylene (HDPE) 2) Low density polyethylene (LDPE) 3) Polypropylene (PP) 4) Polystyrene (PS) 5) Acrylonitrile Butadiene

Styrene (ABS) และกำหนดแรงที่กระทำต่อราวกันอันตรายตามมาตรฐาน TL-3 ของมาตรฐาน NCHRP 350 [9] โดยขอบเขตแรงที่กระทำดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งการทำงานของโปรแกรมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ 1) การระบุค่าพารามิเตอร์ของวัสดุและแรงกระทำ 2) ผลการวิเคราะห์ทางกล

Loads - Cases

Case	Label	Case name	Nature
1	DL 1	SW (Self Weight)	Dead
2	LL 1	389 kN (20 Degree) X/L=0.25	Live
3	LL 2	456 kN (20 Degree) X/L=0.25	Live
4	LL 21	1112 kN (20 Degree) X/L=0.25	Live
5	LL 211	1112 kN (25 Degree) X/L=0.25	Live
6	LL 2111	389 kN (20 Degree) X/L=0.50	Live

รูปที่ 1 ขอบเขตแรงที่กระทำต่อราวกันอันตราย



รูปที่ 2 แบบจำลองราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล

จากการวิเคราะห์แบบจำลองราวกันอันตรายโดยใช้โปรแกรม Robot Structural Analysis ทางผู้วิจัยได้จัดกลุ่มตัวแปรที่สัมพันธ์กับค่าระยะ Deflection ได้แก่ ความหนาของ W-Beam แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ 0.32 cm และ 0.65 cm อัตราส่วนระหว่างระยะที่ชนต่อความยาวแบบจำลอง

ราวกันอันตราย แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ 0.25 และ 0.5 ความสูงเสาเหล็กวัดจากระดับพื้น แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 73.5 cm 80 cm และ 86.5 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเหล็ก แบ่งออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ 10 cm. 12.5 cm และ 15 cm แรงและมุมการชนโดยหาได้จากสมการ ที่ (2) แบ่งออกเป็น 4 ขนาด ได้แก่ 1) 389 kN 2) 456 kN 3) 1,112 kN ที่มุม 20 องศา และ 4) 1,112 kN ที่มุม 25 องศา และตัวอย่างรถยนต์ที่นำมาทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3

$$m\Delta v = F\Delta t \quad (2)$$

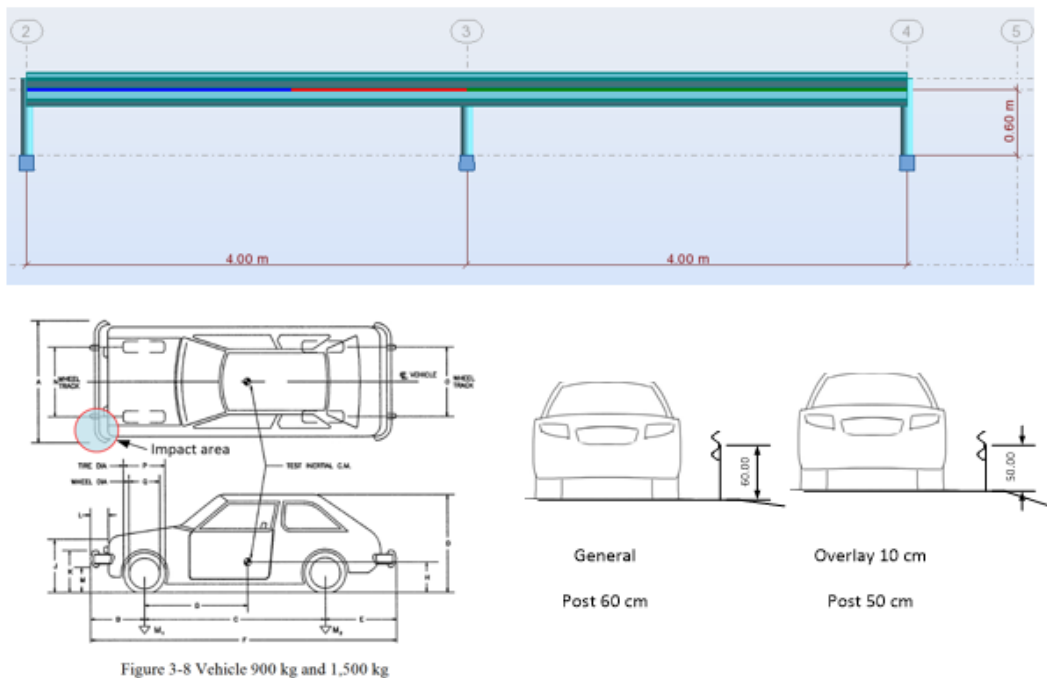
โดยที่

m = มวล (kg)

v = ความเร็ว (m/s)

F = แรง (N)

t = เวลา (s)



รูปที่ 3 ตัวอย่างแบบจำลองราวกันอันตรายและรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบการชน

3.2 กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบ Extrusion

เป็นกระบวนการขึ้นรูปสำหรับเทอร์โมพลาสติก โดยเม็ดพลาสติกจะเข้าสู่เครื่องทาง Hopper จากนั้นจะถูกหลอมภายในเครื่องอัดรีด (extruder) โดยอาศัยทั้งความร้อน แรงเฉือน และความดัน พลาสติกหลอมจะถูกดันออกสู่แม่พิมพ์ (mold) ที่บริเวณปลายเปิด (Die) เพื่อขึ้นรูปตามต้องการ พลาสติกหลอมที่ออกจากหน้า Die เรียกว่า extrudate ในบางกระบวนการจะมีการให้ความเย็น (cooling) หลังจากพลาสติกออกจากหน้า Die แล้วเพื่อให้คงรูปตามที่ต้องการ ทางผู้วิจัยจึงได้นำเม็ดพลาสติกโพรไซเคิล ชนิด Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) และ Polystyrene (PS) ไปผสมผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) [10] โดยใช้อุณหภูมิสภาพของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวที่เหมาะสมของชนิดพลาสติกในการผลิตได้แก่ ชนิด Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) ใช้อุณหภูมิในการผลิตอยู่ที่ $190^{\circ}\text{C} - 290^{\circ}\text{C}$ และชนิด Polystyrene (PS) ใช้อุณหภูมิในการผลิตอยู่ที่ $220^{\circ}\text{C} - 270^{\circ}\text{C}$ ให้เป็นชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $1.0\text{ m} \times 0.3\text{ m} \times 0.01\text{ m}$



รูปที่ 4 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder)



รูปที่ 5 รวากันอันตรายจากพลาสติกโพรไซเคิล ชนิด Polystyrene (PS)



รูปที่ 6 รวากันอันตรายจากพลาสติกกรีไซเดิล ชนิด Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)

3.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength Test)

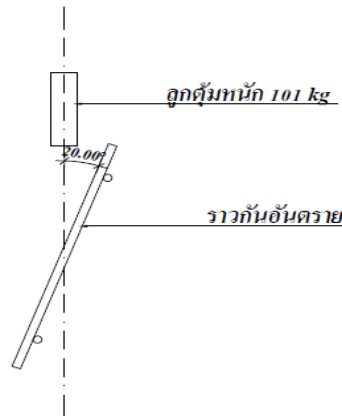
ผู้วิจัยใช้เครื่องมือทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ทำการทดสอบกับชิ้นงานตัวอย่าง โดยวางบน Simple Support และใช้น้ำหนักกระทำแบบ Center Point Loading ผลของค่ากำลังต้านทานแรงดัดจะอยู่ในรูปของโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) โดยเป็นค่าหน่วยแรงดึงสูงสุด ณ จุดแตกร้าวในชิ้นงานที่ทำการทดสอบ การทดสอบแรงดัดนั้นผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ รวากันอันตรายชนิด ABS จำนวน 5 ชิ้น รวากันอันตรายชนิด PS จำนวน 5 ชิ้น และรวากันอันตรายชนิด ABS+PS จำนวน 5 ชิ้น จากนั้นนำไปทดสอบหาค่ากำลังดัด [11]



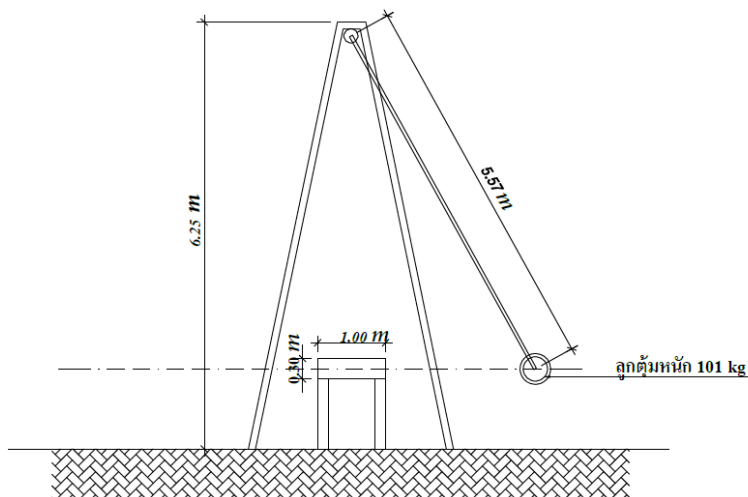
รูปที่ 7 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength Test)

3.4 การทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum test)

ผู้วิจัยทำการทดสอบร้าวกันอันตรายโดยประยุกต์วิธีเพื่อหาพลังงานที่มากจะทำให้ร้าวกัน อันตรายแตกหักโดยวิธี simple pendulum [12] โดยมีวิธีการทดสอบด้วยการนำร้าวกันอันตราย ไปติดตั้งที่จุดศูนย์กลาง และให้ชิ้นงานทำมุม 20 องศา กับแนวลูกตุ้ม จากนั้นทำการยกลูกตุ้มที่มี น้ำหนัก 101 kg มุมองศาในการยก 45 องศา ได้ระยะทางสูง 2.631 m จากพื้นดินและทำการปล่อย ลูกตุ้มเพื่อให้ได้ความเร็วเท่ากับ 20 km/h [13] โดยใช้การวิเคราะห์จากสมการที่ (3) - (6) และแบ่ง ทำการทดสอบเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ร้าวกันอันตรายพลาสติกชนิด ABS จำนวน 5 ชิ้น ร้าวกันอันตราย ชนิด PS จำนวน 5 ชิ้น และชนิด ABS+PS จำนวน 5 ชิ้น รวมเป็น 15 ชิ้นมาทำการทดสอบ และใช้ ไม้สตาฟ (Staff) วัดระยะ Deflection ที่เกิดขึ้น



(ก) การทดสอบโมเมนตัม (ภาพด้านบน)



(ข) การทดสอบโมเมนตัม (ภาพด้านล่าง)

รูปที่ 8 การทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum test)



รูปที่ 9 เครื่องมือทดสอบการทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum Test)

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

$$(g)(l - l \cos \theta) = \frac{1}{2}v^2 \quad (4)$$

$$v = \sqrt{2gh} \quad (5)$$

$$P = mv \quad (6)$$

โดยที่

m = มวล (kg)

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 m/s^2

l = ความยาวแขนของลูกตุ้ม (m)

h = ความสูงระยะยกของลูกตุ้มวัดจากพื้น (m)

v = ความเร็ว (m/s)

P = โมเมนตัม (kg m/s)



(ก) การติดตั้งราวกันอันตรายชนิด PS



(ข) การติดตั้งราวกันอันตรายชนิด ABS



(ค) การติดตั้งราวกันอันตรายชนิด ABS+PS

รูปที่ 10 การติดตั้งราวกันอันตรายชนิด PS,ABS,ABS + PS

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Robot structure analysis พบว่าชนิดของพลาสติกและความหนาของ Guardrail มีผลต่อระยะ Deformation โดยความหนาที่น้อยกว่า มีค่า Deformation ที่มากกว่าโดยในแบบแรกจากพลาสติกทุกชนิดที่มีความหนา 0.32 cm มีระยะ Deformation อยู่ระหว่าง 10 – 569.4 m ในขณะที่แบบที่สองมีความหนา 0.65 cm มีระยะ Deformation มากที่สุดที่ 279.6 m ซึ่งมีค่า Deformation น้อยกว่าแบบแรกถึง 49% จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่า ความหนาที่มากขึ้นมีผลต่อระยะ Deformation ที่ลดลง และชนิดของพลาสติก ABS และ PS มีความเหมาะสมที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นราวกันอันตราย เนื่องจากมีระยะ Deformation ที่น้อยกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14

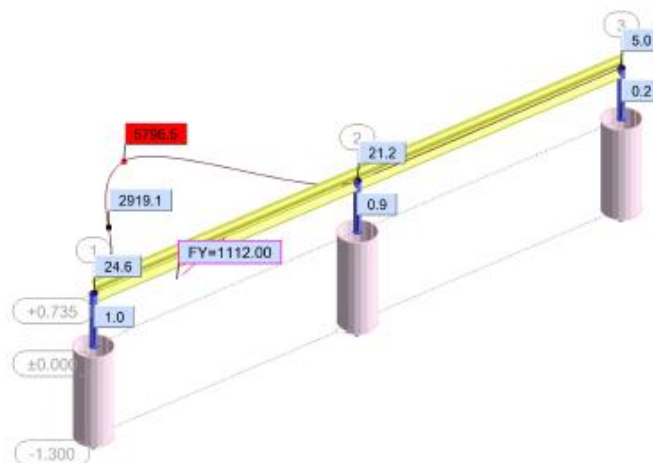
เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมจากข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองราวกันอันตรายจำนวน 720 แบบจำลอง สามารถอธิบายโดยใช้หลัก Multiple Regression สร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยกำหนดตัวแปรตามคือ ค่า Deflection ตัวแปรต้นประกอบด้วย ความหนาของ Guardrail

(Thickness) ระยะ x/L ความสูงของเสา (Height) เส้นผ่านศูนย์กลางเสา (Diameter) และแรงที่ชน Guard Rail (Force) ของทุกประเภทจะได้ดังสมการ (7)

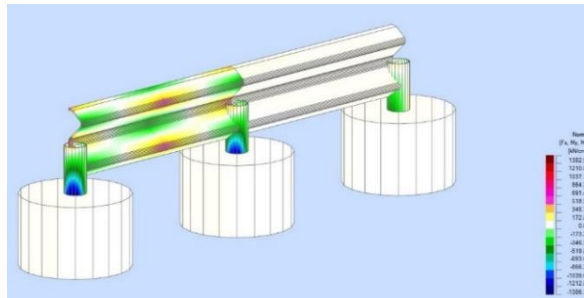
$$\begin{aligned} \text{Deformation} = & 96.58 - (12.81 \times \text{Thickness}) - (44.87 \times x/L) + \\ & (1.35 \times \text{Height}) - (7.55 \times \text{Diameter}) + (12.11 \times \text{Force}) \end{aligned} \quad (7)$$

จากสมการ (7) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า ความหนาของ W-Beam มากขึ้น ค่า Deformation จะน้อยลง โดยดูจากสัมประสิทธิ์ -12.81 ระยะ x/L ยังมีค่าเข้าใกล้ L ค่า Deformation จะลดลง โดยดูจากสัมประสิทธิ์ -44.87 ความสูงของเสาเหล็กวัดจากระดับพื้นยิ่งมีความสูงมาก ค่า Deformation จะยิ่งมาก โดยดูจากสัมประสิทธิ์ +1.35 ด้านตัวแปรเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของเสาเหล็ก ยิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของเสามาก ค่า Deformation จะยิ่งน้อยลง โดยดูจากสัมประสิทธิ์ -7.55 และตัวแปรสุดท้าย คือ Force ให้ค่าสัมประสิทธิ์ +12.11 แปลว่า ยิ่งแรงมาก ค่า Deformation ยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย

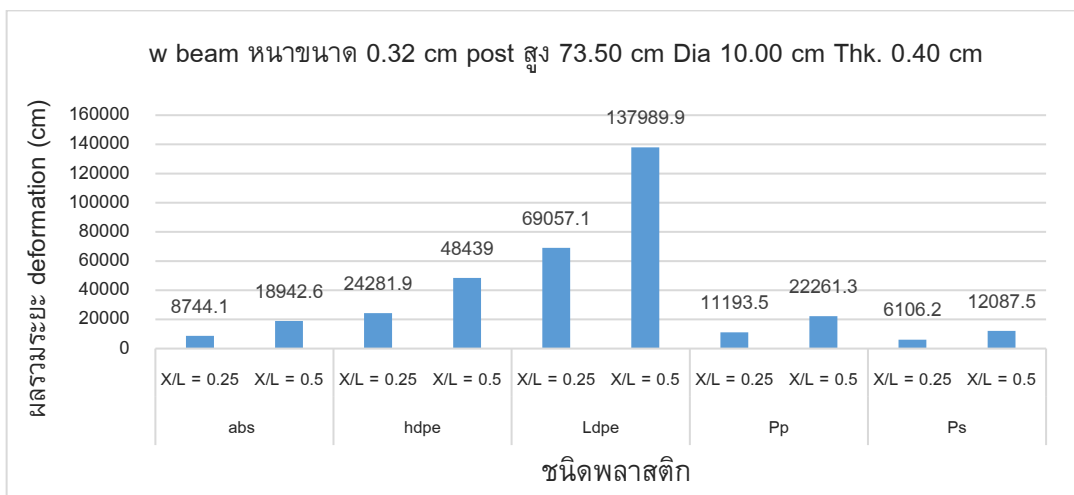
เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แล้ว พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีผลทำให้ค่า Deformation น้อยที่สุด คือ x/L , W-Beam Thickness และ Diameter and Thickness of Steel Post ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาในเฉพาะของตัวอุปกรณ์ราวกันอันตรายนั้น ความหนาของตัวราวกันอันตรายมีผลต่อการลดลงของ Deformation และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเสา ตามลำดับ



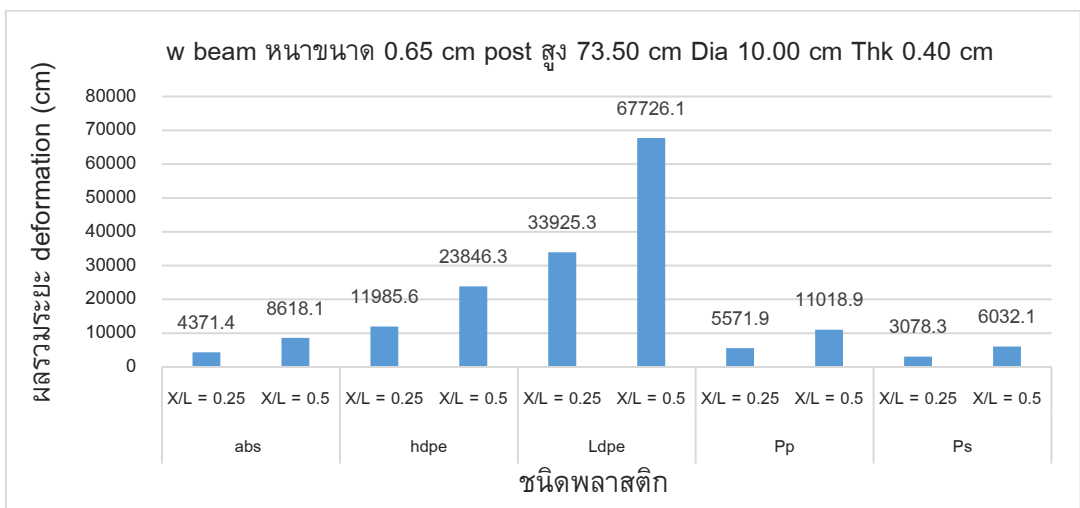
รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์การชนจากโปรแกรม Robot Structure Analysis (Linear line)



รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์การชนจากโปรแกรม Robot Structure Analysis (contour line)



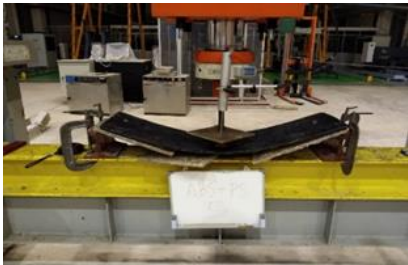
รูปที่ 13 ผลรวมแรงกระทำต่อราวกันอันตราย ที่ความหนา 0.32 cm



รูปที่ 14 ผลรวมแรงกระทำต่อราวกันอันตราย ที่ความหนา 0.65 cm

4.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength Test) พบว่า รวากันอันตรรายทั้ง 3 รูปแบบ ได้ผลคือ รวากันอันตรรายชนิด ABS ได้กำลังดัดเฉลี่ยเท่ากับ 1.099 kN/mm รวากันอันตรรายชนิด PS ได้กำลังดัดเฉลี่ยเท่ากับ 0.672 kN/mm และ รวากันอันตรราย ชนิด ABS + PS ได้กำลังดัดเฉลี่ยเท่ากับ 1.496 kN/mm เมื่อเปรียบเทียบกำลังดัดจะพบว่า รวากันอันตรรายชนิด ABS+PS ให้ค่ากำลังดัด ที่สูงที่สุดเนื่องจากการเสริมเป็นรวากันอันตรรายซ้อนกัน 2 ชั้น และในส่วนของ รวากันอันตรรายชนิด ABS มีค่ากำลังดัดที่รองลงมาแต่มากกว่าชนิด PS เนื่องจากพลาสติกชนิด ABS มีกำลังแรงดัดที่ดีกว่า และมีสภาพที่ยืดหยุ่นกว่า (Flexible) โดยไม่เกิดความเสียหายหลังจาก Load cell กระทำจนสุดแรงดัด

ตารางที่ 3 ลักษณะความเสียหายจากการทดลองแรงดัด (Flexural Strength Test)

ชนิดพลาสติก	การทดสอบแรงดัด	ผลการทดลอง (kN/mm)	ค่าเฉลี่ย (kN/mm)
ABS		1.090 1.173 0.934 1.160 1.142	1.099
PS		0.443 0.579 0.587 0.961 0.791	0.672
ABS + PS		1.459 1.630 1.540 1.410 1.440	1.496

4.3 ผลการทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum Test) ที่ทำให้ราวกันอันตรายเกิดความเสียหาย จากการทดสอบพบว่า แรงที่กระทำต่อราวกันอันตรายขนาดเท่ากับ 20 km/h โดยใช้ลูกตุ้มที่มีน้ำหนัก 101 kg ระยะยก θ ที่ 45° ความสูงที่ 2.631 m วัดจากพื้นดิน พบว่าระยะ Deflection ของแต่ละชนิดพลาสติกมีดังนี้ ABS ได้ระยะ Deflection เฉลี่ยอยู่ที่ 86.99 mm ชนิด PS ระยะ Deflection เฉลี่ยอยู่ที่ 57.1 mm และชนิด ABS + PS ได้ระยะ Deflection เฉลี่ยเท่ากับ 101.31 mm ดังแสดงในตารางที่ 4



(ก) ชนิด PS



(ข) ชนิด ABS



(ค) ชนิด ABS + PS

รูปที่ 15 การวัดค่าระยะ Deflection ที่ได้จากการโก่งตัวของราวกันอันตรายชนิด PS, ABS และ ABS+PS

ตารางที่ 4 ลักษณะความเสียหายจากการทดสอบการทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum Test)

ชนิดพลาสติก	การทดสอบการชน	ผลการทดลอง (mm)	ค่าเฉลี่ย (mm)
ABS		90.29 81.55 81.13 96.27 85.72	86.99 (กลุ่มตัวอย่างแตกหัก)
PS		64.14 59.61 45.44 55.81 60.44	57.08 (กลุ่มตัวอย่างแตกหัก)
ABS + PS		93.56 103.00 103.36 103.34 103.31	101.31 (กลุ่มตัวอย่างแตกหักบางส่วน)

4.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตรวมกันอันตราย

ตารางที่ 5 ต้นทุนการผลิตรวมกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล

ชนิดพลาสติก	ราคาเม็ดพลาสติก (บาท)	ค่าแบบ (บาท)	ค่าไฟ (บาท)	รวม (บาท)
ABS	260	1,000	13.163	1,273.163
PS	200	1,000	13.163	1,213.163
ABS+PS	460	1,000	26.330	1,486.330

ราคาของราวกันอันตรายทั้ง 3 รูปแบบคิดต่อความยาวที่ 1 เมตร โดยที่ค่าเม็ดพลาสติกชนิด ABS มีราคาต่อกิโลกรัมละ 52 บาทโดยใช้ไปต่อชั้นอยู่ที่ 5 kg ชนิด PS อยู่ที่กิโลกรัมละ 40 บาท โดยใช้ไปต่อชั้นอยู่ที่ 5 kg และชนิด ABS+PS ใช้ปริมาณต่อชั้นที่ 10 kg และอัตราค่าไฟบริการคิดต่อ 1 ชั้นในการผลิตใช้เวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อชั้นงาน โดยที่เครื่องฉีดพลาสติกใช้พลังงานไฟฟ้า 2 kW และคิดค่าไฟเฉลี่ยที่ 3.9 บาท/หน่วย โดยใช้ไฟไป 3.375 หน่วย

5. สรุปผลการทดลอง

ค่าระยะ Deformation จากโปรแกรม Robot Structure Analysis พบว่า ราวกันอันตรายพลาสติก ชนิด Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) และชนิด Polystyrene (PS) มีค่า Deformation ที่น้อยกว่า พลาสติกชนิดอื่นๆ ดังนั้นพลาสติกชนิด ABS และ PS จึงเหมาะสมที่พัฒนาเป็นราวกันอันตราย การขึ้นรูปพลาสติกด้วยเครื่อง Single Screw Extruder ให้เป็นชั้นงานตัวอย่างของราวกันอันตราย ยังมีข้อบกพร่องอยู่ จึงแนะนำให้พัฒนาการขึ้นรูปพลาสติกในรูปแบบอื่น ๆ งานวิจัยนี้เป็นต้นแบบในการพัฒนาราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล จึงทำการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปให้เป็นตัวอย่าง อย่างง่าย แนะนำให้ทำการพัฒนาเป็นรูปแบบ ราวกันอันตรายที่มีรูปทรงตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ค่ากำลังดัด ของราวกันอันตราย ชนิด ABS + PS มากกว่า ชนิด PS อยู่ที่ 73% และมากกว่า ชนิด ABS อยู่ที่ 28% แสดงให้เห็นว่าพลาสติกชนิด ABS + PS มีค่ากำลังต้านทานแรงดัดที่เห็นสมควรว่าพลาสติก 2 ชนิดนี้มีความยืดหยุ่นสูงและคุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การนำไปพัฒนาต่อเป็นราวกันอันตรายได้

พลังงานโมเมนตัมที่ทำให้ราวกันอันตรายเสียหายจากมวลของลูกตุ้ม 101 kg ความเร็ว 20 km/h ทำให้ราวกันอันตรายชนิด ABS+PS มีค่าระยะ Deflection ที่สูงกว่าชนิด ABS และ PS แต่ไม่เกิดความเสียหายจากการทดสอบ ดังนั้นราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิลชนิด ABS+PS สามารถประคองลูกตุ้มไม่ให้ทะลุผ่านราวกันอันตรายไปได้และเปลี่ยนเส้นทาง (Redirect) ลูกตุ้มให้กลับเส้นทางเดิม จากการทดลองการชนหรือโมเมนตัมราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล เหมาะสำหรับถนนที่ผ่านเขตชุมชนเมือง หรือบริเวณที่ผ่านสถานที่ที่มีผู้คนสัญจรมากเช่น โรงเรียน โรงพยาบาล หรือสถานที่ราชการเพราะจะต้องสัญจรไปมาด้วยความเร็วต่ำและมีการควบคุมการใช้ความเร็ว และทางผู้วิจัยเห็นสมควรที่ในอนาคตควรคัดเลือกชนิดพลาสติกชนิดอื่น ๆ ที่สามารถนำกลับมารีไซเคิล และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นราวกันอันตรายเพิ่มเติม

การทดลองนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเรื่องการพัฒนาราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล โดยมีแนวคิดที่จะพัฒนาและสร้างคุณประโยชน์จากสิ่งของเหลือใช้ในชุมชน นำกลับมาพัฒนาให้เกิดมูลค่า ซึ่งยังมีข้อบกพร่องอยู่หากจะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์จริงในอนาคต โดยจะต้องมีการวิเคราะห์ผลของการของการทดลองให้ละเอียดมากขึ้นกว่านี้ และยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งใน

ส่วนของการพัฒนาขึ้นรูปของชิ้นงานพลาสติกให้เป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับการพัฒนาเป็นราวกันอันตราย รวมไปถึงการทดสอบการชนจริง เพราะหากจะต้องพัฒนาเป็นราวกันอันตรายและเกิดการใช้งานจริงและเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานจากกรมทางหลวง จะต้องมีการเพิ่มเติมในส่วนของการทดลองการชนจริงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐาน NCHRP 350 จากทางสหรัฐอเมริกา หรือ EN 1317 จากสหภาพยุโรป ว่าสามารถเปลี่ยนเส้นทาง (Redirect) รถยนต์เมื่อมาชนกับราวกันอันตรายให้กลับไปอยู่ในช่องจราจรเดิมเมื่อเกิดอุบัติเหตุ และไม่เกิดความเสียหายต่อชีวิตผู้โดยสาร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ใช้ในการผลิต และทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้

Reference

- [1] Office of the National Economic and Social Development Council. The 13th economic development and nationality plan 2023 - 2027. Bangkok, Thailand: Office of the National Economic and Social Development Council; 2022. (In Thai)
- [2] Nation online [Internet]. Bangkok: WebMD; c2013-2022. Statistics of pedestrians killed by a car Thailand ranked in the TOP 10 worlds. [cited 2021 dec 15]. Available from: <https://www.nationtv.tv/news/378861447/>. (In Thai)
- [3] Bureau of Highway Safety. Traffic accident on national highways in 2020. Bangkok, Thailand: Department of Highways; 2021. (In Thai)
- [4] Made in China [Internet]. Shandong Guanxian Huaan, China: Shandong Guanxian Huaan Traffic Facilities Co., Ltd; WebMD; c1998-2022. Highway safety Barrier Painted Plastic Guardrail; [cited 2021 dec 15]. Available from: <https://highwayguardrail.en.made-in-china.com/>.
- [5] Tradekorea [Internet]. South Korea: carisguardrail; WebMD; c2015-2022. Plastic Resin PVC Guardrail; [cited 2021 dec 15]. Available from: <https://www.tradekorea.com/product/detail/P676516/Plastic-Resin-PVC-Guardrail,-Safety-Barrier,-Multy-Color.html>
- [6] Amp-taiwan [Internet]. Taiwan: APLUS MOLDS & PLASTICS CO., Ltd; WebMD; c2013-2022. Road warning safety plastic guardrail; [cited 2021 dec 16]. Available from: https://catalog.prm-taiwan.com/?lang=en&id=308&catalog_id=2284#p-1

- [7] Brahmasakha P. Robot structural analysis 2020. Bangkok, Thailand: Panithi Brahm Publishing; 2021. (In Thai)
- [8] Kongsutruo J, Banchanon T, Muangthong S. Safer guardrail modelling development for thailand by finite element method. [thesis]. Songkhla, Thailand: Rajamangala University of Technology Srivijaya; 2018. (In Thai)
- [9] Bureau of Highway Safety. Instruction manual for installation of barrier device and facilities. 2011. Bangkok, Thailand: Department of Highways; 2011. (In Thai)
- [10] Liampipat P. Plastic. Bangkok, Thailand: Por Samphan Printing Services; 2002. (In Thai)
- [11] Reaplerthiran S. Mechanical testing of plastics: Basic & Data Interpretation 2014. Bangkok: gto corporation company limited; 2014. (In Thai)
- [12] Ploypatta M. Producing of guide posts to reduce the severity from collisions. [thesis]. Songkhla, Thailand: Rajamangala university of technology srivijaya; 2015. (In Thai)
- [13] Brown CM. Pendulum testing of an FRP composite guardrail. georgetown pike, Virginia: Department of Transportaion (US), Federal Highway Administration; 1998 Mar. Report No.: FHWA-RD-98-017.

ประวัติผู้เขียนบทความ



กีรติกร อินทรักษ์ นักศึกษาระดับมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถนนราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000
E-mail: keetikorn52@hotmail.com โทรศัพท์ 093-7568828
งานวิจัยที่สนใจ: งานด้านการวางแผนด้านการจราจรและขนส่ง วิศวกรรมจราจร



ชลัท ทิพพาการเกียรติ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถนนราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000
E-mail: chalath.t@rmutsv.ac.th โทรศัพท์ 088-340-3799
งานวิจัยที่สนใจ: งานวิจัยด้านวิศวกรรมความปลอดภัยทางถนน วิศวกรรมจราจรและวางแผนการขนส่ง และงานด้านวัสดุวิศวกรรม



นันทชัย ชุติสัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถนนราชดำเนินนอก
ต.บ่อยาย อ.เมือง จ.สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000

E-mail: nuntachai.c@rmutsv.ac.th โทรศัพท์ 081-9796859

งานวิจัยที่สนใจ: Green Concrete, Green Technology Eco-Efficient
Concrete Waste Materials and By-Products in Concrete การพัฒนาไม
ยางพาราสำหรับงานโครงสร้างอาคาร การพัฒนาเทคโนโลยี สำหรับการ
ก่อสร้างสมัยใหม่ การศึกษาความคงทนของโครงสร้างในสภาวะแวดล้อม
รุนแรง



จรรุญ เจริญเนตรกุล สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถนนราชดำเนินนอก
ต.บ่อยาย อ.เมือง จ.สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000

E-mail: charoon.c@rmutsv.ac.th โทรศัพท์ 084-3124477

งานวิจัยที่สนใจ: สาขาวิชาทางด้านการทดสอบวัสดุและวัสดุวิศวกรรม
สาขาวิชาทางด้านความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และ
โครงสร้างเหล็กที่สัมผัสน้ำทะเล

Article History:

Received: February 22, 2022

Revised: April 28, 2022

Accepted: April 29, 2022

การศึกษาทำถ่านอัดแท่งจากเปลือกส้มโอ

THE STUDY ON THE PRODUCTION OF CHARCOAL BRIQUETTES FROM POMELO PEELS

สิริชัย จีรวงศ์นุสรณ์¹ และ จังหวัด เจริญสุข²

¹อาจารย์, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์, 96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑล สาย 5 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170,
sirichaiam@hotmail.com

²อาจารย์, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, 62/1 (ในเมือง) ถ.เกษตรสมบูรณ์ ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ 46000,
changwatch@gmail.com

Sirichai Jirawongnusun¹ and Changwat Charoensuk²

¹Lecturer, Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Rattanakosin, 96/3 Phutthamonthon 5way Rd., Salaya, Phutthamonthon
District, Nakhon Pathom Province 73170, Thailand, sirichaiam@hotmail.com

²Lecturer, Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University, 62/1 Kasetsomboon Rd., Kalasin, Muang District, Kalasin Province
46000, Thailand, changwatch@gmail.com

บทคัดย่อ

จังหวัดนครปฐมมีเปลือกส้มโอมากซึ่งนิยมแปรรูปเป็นรูปหอมหรือสบู่เหลวและกลุ่มน้ำมันหอมระเหย เพื่อเพิ่มทางเลือกแปรรูป งานวิจัยนี้มีความสนใจศึกษาความเป็นไปได้การแปรรูปเปลือกส้มโอเป็นถ่านอัดแท่งโดยศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะในการอัดแท่ง ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการอัดที่เกิดความร้อนได้เองขณะอัดเทียบกับใช้ฮีตเตอร์ในการให้ความร้อน ศึกษาค่าความร้อน ความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว ผลการศึกษาพบว่าถ่านอัดตัวเป็นก้อนได้ดีที่อัตราส่วนผสมวัสดุประสานมีความชื้นร้อยละ 80 ในทางตรงข้ามพบว่าความชื้นเพิ่มมากขึ้นหรือต่ำกว่าดังกล่าวถ่านอัดเป็นก้อนได้ไม่ดี เปรียบเทียบระหว่างการอัดที่เกิดความร้อนขึ้นได้เองกับการอัดแบบใช้ฮีตเตอร์มีความแตกต่างกันไม่มากแต่เมื่อนำถ่านทั้ง 2 ชนิดไปตากแดด พบว่าสามารถแห้งตัวได้เหมือนกันในวันที่ 5 คุณสมบัติถ่านอัดแท่งจากเปลือกส้มโอพบว่ามีค่าความร้อนเฉลี่ย 5,344 แคลอรีต่อกรัม ความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 8.35 ถึง 11.14 ปริมาณสารระเหยอยู่ระหว่างร้อยละ

ละ 25.19 ถึง 29.22 ปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 19.43 ถึง 21.87 และปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 44.24 ถึง 48.91 จึงสรุปได้ว่าเปลือกส้มโอสามารถแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งได้

คำสำคัญ: พลังงานทดแทน, ถ่านอัดแท่ง, เปลือกส้มโอ

ABSTRACT

In the province Nakhon Pathom, there are a large number of pomelo peels. Their peels are processed into incense or liquid soap and aromatic oils to provide an alternative to processing pomelo peels. This research is about the possibility of processing pomelo peels into charcoal briquettes. In this study, the optimum blend ratio for briquettes is determined by comparing spontaneously heated compression and heater-heated compression, where the factors of heat, humidity, volatile content, ash and carbon constant were investigated. The results showed that the charcoal was well compacted at a binder mix ratio of about 80% moisture. On the other hand, it was found that the higher or lower the moisture content of the charcoal, the more imperfectly it was compacted. The results of the comparison between self-heating compression and heating compression were slightly different. However, when the two types of charcoal were dried in the sun, it was found that they dried equally well on the 5th day. The properties of charcoal briquettes made from pomelo peel show that the calorific value is more than 5,000 calories per gram. The moisture content is between 8 and 11 per cent. The volatile matter content is between 25 and 29 per cent. The ash content is between 19 and 21 per cent and the stable carbon content is between 44 and 48 per cent. In summary, pomelo peels can be made into charcoal briquettes.

KEYWORDS: renewable energy, charcoal briquette, pomelo peels

1. บทนำ

องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกส้มโอทั้งส่วนเขียวและขาว ส่วนใหญ่จะเป็นสารกลุ่มน้ำมันหอมระเหย ดังนั้นเปลือกส้มโอก็ถูกนำไปทำรูปหอม รูปไล่ยุง หรือนำสีขาวไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น สบู่เหลว โลชั่นบำรุงผิว [1] จังหวัดนครปฐมมีปริมาณเปลือกส้มโอเหลือทิ้งหลังจากปอกเพื่อเอาเนื้อส้มโอจำหน่ายเป็นจำนวนมาก บทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการแปรรูปเปลือกส้มโอเป็นถ่านอัดแท่งสำหรับเพิ่มทางเลือก ซึ่งจะศึกษาคุณสมบัติถ่านอัดแท่งที่ทำมาจากเปลือกส้มโอเป็นองค์ประกอบหลัก โดยจะพิจารณาปัจจัยค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว รวมถึงสมการ

คณิตศาสตร์สำหรับคำนวณหาขนาดกำลังมอเตอร์ของเครื่องอัดถ่าน และวิธีคำนวณการหาค่าความร้อนถ่านอัดแท่งจากเปลือกส้มโอ เพราะการศึกษาที่พบในปัจจุบันเป็นการศึกษาถ่านอัดแท่งที่ทำมาจากถ่านไม้รวมผสมกับถ่านกะลามะพร้าว [2] ถ่านอัดแท่งที่ทำมาจากเปลือกกาแฟ [3] ถ่านอัดแท่งที่ทำมาจากเปลือกสัปะรด [4] เป็นต้น แต่ยังไม่พบการศึกษาถ่านอัดแท่งที่ทำมาจากเปลือกส้มโอซึ่งจะใช้แบริ่งมันสำปะหลังร่วมกับน้ำเป็นตัวประสาน รวมถึงบทความวิจัยที่เคยมีการศึกษาเครื่องอัดแบบลูกสูบ แบบเกลียวกรวย หรือแบบเกลียวคู่ ซึ่งบทความอภิปรายผลความร้อนที่กระบอกอัดอยู่ระหว่าง 100 ถึง 300 องศาเซลเซียส และเครื่องอัดแบบเกลียวที่มีขดลวดความร้อนที่กระบอกอัดโดยจะเกิดความร้อนขึ้นขณะอัดอยู่ระหว่าง 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส [5] แต่ยังไม่มีการศึกษาผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอัดที่เกิดความร้อนขึ้นได้เอง ขณะอัดเทียบกับเครื่องอัดที่มีการให้ความร้อนจากภายนอก บทความวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประเด็นดังกล่าวเพื่อเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการทำถ่านอัดแท่งจากเปลือกส้มโอ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

วัสดุในการทดลองวิจัยประกอบด้วยถ่านจาก ผักตบชวา กะลามะพร้าวและเปลือกส้มโอ วัสดุประสานประกอบด้วย แบริ่งมันสำปะหลังและน้ำ เครื่องมืออุปกรณ์ประกอบการศึกษาประกอบด้วย เครื่องชั่งดิจิตอล เครื่องอัดถ่านขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1,492 วัตต์ ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ทดสอบเพิ่มแรงอัดด้วยมู่เล่เกลียวอัดแบบเกลียวหนอน ซึ่งในบทความวิจัยได้นำเสนอวิธีคำนวณหาแรงอัดในกระบอกอัดถ่านที่แปรผันตามกำลังมอเตอร์สมการที่ (5) เปรียบเทียบระหว่างการอัดที่เกิดความร้อนขึ้นได้เองเทียบกับการอัดที่มีการให้ความร้อนจากภายนอกโดยการติดฮีตเตอร์ที่กระบอกอัด เพื่อหาผลต่างของน้ำหนักเฉลี่ยตามสมการที่ (8) หาค่าความร้อนถ่านโดยบอมม์แคลอรีมิเตอร์มาตรฐาน ASTM D240 D4809 แสดงการคำนวณหาค่าตามสมการที่ (10) วิเคราะห์คุณสมบัติถ่านอัดแท่งที่ห้องปฏิบัติการทดสอบเชื้อเพลิงชีวมวลและผลิตภัณฑ์สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อหาค่าความชื้น สารระเหย ปริมาณแบริ่ง และคาร์บอนคงตัว เปรียบเทียบค่าความร้อนกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง [6]

2.1 วัสดุและเครื่องมือวิจัย

2.1.1 วัสดุในการทดลอง

การศึกษาจะใช้เปลือกส้มโอ ผักตบชวา และกะลามะพร้าวเผาในถัง 200 ลิตร เพื่อให้เป็นถ่านดังรูปที่ 1



(ก) ถ่านฟักตบขวา



(ข) ถ่านกะลามะพร้าว



(ค) ถ่านเปลือกส้มโอ

รูปที่ 1 ถ่านที่ได้จากการทดลอง

2.1.2 เครื่องมือ

ถ่านทั้ง 3 ชนิดผ่านการบดและร่อนด้วยตะแกรง ใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอลในการหาปริมาณผงถ่านและวัสดุประสานประกอบด้วยแป้งมันสำปะหลังและน้ำ ดังรูปที่ 2



(ก) ปีกเกอร์สำหรับตวง



(ข) ชั่งน้ำหนักวัสดุประสาน



(ค) ชั่งน้ำหนักผงถ่านผ่านการร่อน

รูปที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

บทความวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอสมการสำหรับคำนวณหากำลังมอเตอร์ ซึ่งส่งผลต่อค่าความเค้นอัดในกระบอกอัด ค่าความเค้นอัดนี้คือค่าความแข็งของถ่าน โดยจัดรูปสมการความเค้นอัดกับสมการโมเมนต์บิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้น [7] สมการความเค้นอัดตามสมการที่ (1) พิจารณารูปที่ 3 และ 4 ประกอบ

$$P = \frac{F}{A_t} \quad (1)$$

โดยที่

P = ความเค้นอัดในกระบอกอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

F = แรงจากมอเตอร์ส่งผ่านสายพาน (นิวตัน)

A_r = พื้นที่ส่วนที่เป็นเกลียววัดแสดงในสมการที่ (4) (ตารางมิลลิเมตร)
 สมการกำลังไฟฟ้ามอเตอร์ซึ่งแปรผันตามความเร็วรอบและโมเมนต์บิดตามสมการที่ (2)
 พิจารณารูปที่ 4 ประกอบ

$$W_p = 2\pi n_l T \quad (2)$$

โดยที่

W_p = กำลังไฟฟ้ามอเตอร์ (วัตต์)

n_l = ความเร็วรอบมู่เล่ขับ (รอบต่อนาที)

T = โมเมนต์บิดที่มอเตอร์ผลิตขึ้นหรือ $F \cdot r$ (นิวตันเมตร)

สมการหาอัตราทดผ่านมู่เล่ เพื่อทดความเร็วรอบและเพิ่มโมเมนต์บิดตามสมการที่ (3)
 พิจารณารูปที่ 4 ประกอบ

$$n_2 = \left(\frac{\pi n_l}{10,800} \right) \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \quad (3)$$

โดยที่

n_2 = ความเร็วรอบมู่เล่ตาม (เรเดียนต่อวินาที)

n_l = ความเร็วรอบมู่เล่ขับ (รอบต่อนาที)

D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางมู่เล่ขับ (มิลลิเมตร)

D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางมู่เล่ตาม (มิลลิเมตร)

ลักษณะเกลียววัดประกอบด้วยส่วนที่เป็นโคนเกลียววัดและส่วนที่เป็นยอดเกลียววัด การหาพื้นที่ส่วนที่ทำให้เกิดความเค้นอัด จึงพิจารณาเฉพาะบริเวณส่วนที่เป็นยอดเกลียววัด หาได้ตามสมการที่ (4)

$$A_r = \frac{\pi}{4} (D_4^2 - D_3^2) \quad (4)$$

โดยที่

A_r = พื้นที่ส่วนที่เป็นเกลียววัด (ตารางมิลลิเมตร)

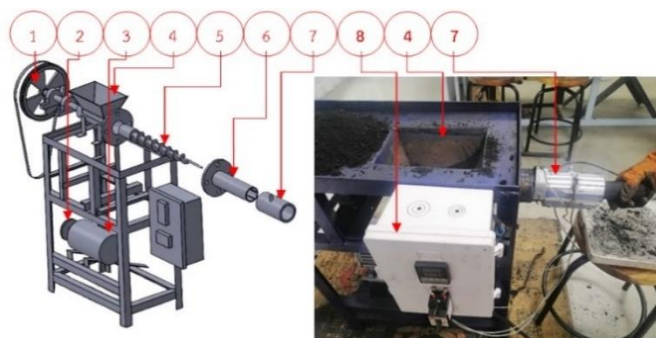
D_3 = เส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียวอัด (มิลลิเมตร)

D_4 = เส้นผ่านศูนย์กลางยอดเกลียวอัด (มิลลิเมตร)

จัดรูปสมการที่ (1) (2) (3) และ (4) ได้สมการความเค้นอัดในกระบอกอัดตามสมการที่ (5)

$$P = \frac{(4776)W_p}{\pi n_T r_T A_T} \quad (5)$$

โดยที่ r_T = รัศมีเกลียวอัด (มิลลิเมตร)

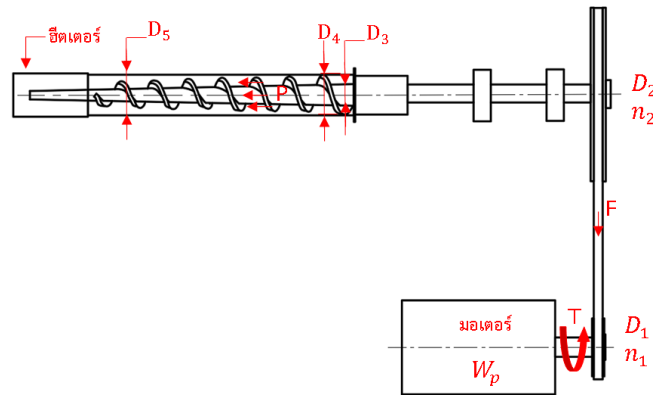


(ก) เครื่องอัดถ่านออกแบบ (ข) เครื่องอัดถ่านทดสอบจริง
ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

รูปที่ 3 อุปกรณ์เครื่องอัดถ่าน

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์เครื่องอัดถ่าน

หมายเลข	ตัวแปร	ชื่ออุปกรณ์	ขนาด (มิลลิเมตร)
1	D_2, n_2	มู่เล่ตามสำหรับขับเกลียวอัด	เส้นผ่านศูนย์กลาง 225
2	D_1, n_1	มู่เล่ขับสายพาน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5
3	W_p	มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์	1,492 วัตต์ รอบ 1,450 รอบต่อนาที
4		ช่องป้อนถ่าน	กxยxส 155x228x95
5	D_4	ยอดเกลียวอัด	เส้นผ่านศูนย์กลางยอดเกลียว 45
5	D_3	โคนเกลียวอัด	เส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียว 25
6	D_5	กระบอกอัด	เส้นผ่านศูนย์กลาง 46 ยาว 240
7		ฮีตเตอร์ให้ความร้อนถ่าน	600 วัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 70
8		กล่องควบคุมระบบไฟฟ้าฮีตเตอร์	



รูปที่ 4 ระบบส่งกำลังจากมอเตอร์ผ่านอัตราทดเพื่อสร้างความเค้นอัดในกระบอกอัด

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการอัดที่เกิดความร้อนขึ้นได้เองกับการอัด โดยให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ เพื่อดึงมวลน้ำออกจากถ่านซึ่งเกิดขึ้นขณะอัดจะส่งผลต่อระยะเวลา การแห้งของถ่าน ในการทดสอบนี้ได้เลือกใช้ฮีตเตอร์แบบบริดจ์ ท่อ ฉนวนของฮีตเตอร์ทำจาก แผ่นไมก้าและลวดฮีตเตอร์เป็นแบบขนาดกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เนื่องจากมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถสวมกระบอกอัดได้ดังรูปที่ 3 หมายเลข 7 การคำนวณหา กำลังไฟฟ้าทำได้ หลายวิธี เช่นกรณีที่ใช้ทราบแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานขดลวดฮีตเตอร์ [8] คำนวณได้ตาม สมการที่ (6)

$$P_w = \frac{E^2}{R} \quad (6)$$

โดยที่

P_w = กำลังไฟฟ้าฮีตเตอร์ผลิตขึ้น (วัตต์)

E = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

R = ความต้านทานขดลวดฮีตเตอร์ (โอห์ม)

ค่าความร้อนถ่านอัดแห้งได้จากบอมบ์แคลอริมิเตอร์รูปที่ 5 โดยนำผงถ่านอัดแห้งทั้ง 3 ชนิด ไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ภายใต้ความดันในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ หลักการทำงานเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปแล้ว จะให้พลังงาน ความร้อนออกมาหน่วยที่วัดได้ คือ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม หรือ กิโลจูลต่อกิโลกรัม



รูปที่ 5 บอมบ์แคลอริมิเตอร์

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

2.2.1 หาอัตราส่วนวัสดุประสานพอเหมาะในการอัด

ซึ่งนำหนักผงถ่านผ่านการร่อน 2 กิโลกรัม บันทึกลงเป็นตัวอย่าง B ตามสมการที่ (7) ซึ่งนำหนักวัสดุประสานประกอบด้วยแป้งมันสำปะหลัง 50 กรัม และน้ำ 750 กรัม ผสมผงถ่านกับวัสดุประสานดังรูปที่ 6 บันทึกลงเป็นตัวอย่าง A จำนวนหาร้อยละความชื้น ทดสอบอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดดังรูปที่ 6 พิจารณาโครงสร้างทางกายภาพภายนอก ทดลองซ้ำโดยคงที่ผงถ่าน 2 กิโลกรัม แต่เพิ่มวัสดุประสานโดยแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นครั้งละ 50 กรัม และน้ำเพิ่มขึ้นครั้งละ 250 กรัม



(ก) ผงถ่านผสมวัสดุประสาน



(ข) ทดสอบอัดขึ้นรูป

รูปที่ 6 การทดลองอัดขึ้นรูป

2.2.2 ทดสอบอัดแบบไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์

การทดสอบนี้ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการอัดที่เกิดความร้อนขึ้นได้เองเทียบกับการให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์โดยใช้อัตราส่วนผสมที่พอเหมาะตามหัวข้อ 2.2.1 อัดถ่านทั้ง 3 ชนิด โดยไม่เปิดฮีตเตอร์ (อุณหภูมิบรรยากาศ 27 องศาเซลเซียส) จำนวน 3 การทดลอง และแบบเปิดฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส จำนวนชนิดละ 3 การทดลอง แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักเฉลี่ยตามสมการที่ (8) และคำนวณหาผลต่างเฉลี่ยตามสมการที่ (9)

2.2.3 หาค่าความร้อนถ่านอัดแท่ง

นำถ่านวางด้วยตาชั่งละเอียดให้ได้ 1 กรัม ดังรูปที่ 7 นำถ่านใส่ลงในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ผูกหลอดบอมบ์ยาวประมาณ 12 เซนติเมตร ให้ถึงถ่านดังรูปที่ 7 เติมน้ำในบอมบ์ประมาณ 1 มิลลิลิตร ปิดฝาบอมบ์แล้วบรรจุก๊าซออกซิเจนเข้าแช่น้ำเพื่อวัดอุณหภูมิเมื่อเกิดการเผาไหม้ดังรูปที่ 7 ทำการทดลองซ้ำกับถ่านชนิดละ 3 ครั้ง เพื่อนำผลการทดสอบหาค่าความร้อนตามสมการที่ (10)



(ก) ถ่าน 1 กรัม



(ข) ใส่หลอดบอมบ์



(ค) แช่ห้องบอมบ์ในน้ำเพื่อวัดอุณหภูมิขณะเผาไหม้

รูปที่ 7 การทดลองหาค่าความร้อนถ่านอัดแท่ง

2.2.4 วิเคราะห์คุณสมบัติถ่านอัดแท่ง

เพื่อวิเคราะห์หาความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัว ที่ห้องปฏิบัติการทดสอบเชื้อเพลิงชีวมวลและผลิตภัณฑ์ สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง

2.3 สมการประเมินผล

2.3.1 หาค่าอัตราส่วนวัสดุประสานพอเหมาะในการอัด

การประเมินความพอเหมาะวัสดุประสาน พิจารณาจากร้อยละความชื้นที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านการผสมวัสดุประสาน ตามสมการที่ (7)

$$H = \left(\frac{A-B}{B} \right) \times 100 \quad (7)$$

โดยที่

H = ความชื้นถ่านหลังผสมวัสดุประสาน (ร้อยละ)

A = น้ำหนักถ่านหลังผสมวัสดุประสาน (กิโลกรัม)

B = น้ำหนักผงถ่านก่อนผสมวัสดุประสานคงที่เท่ากับ 2 (กิโลกรัม)

2.3.2 ทดสอบอัดแบบไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์

สมการคำนวณค่าน้ำหนักเฉลี่ยจากการทดสอบแบบไม่เปิดฮีตเตอร์กับเปิดฮีตเตอร์ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับจำนวนชนิดละ 3 การทดลองตามสมการที่ (8)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^3 X_i}{3} \quad (8)$$

โดยที่

$\bar{X}$ = ค่าน้ำหนักเฉลี่ยถ่านอัดแท่ง (กรัม)

X_i = ผลรวมค่าน้ำหนักถ่านอัดแท่งที่อ่านจากเครื่องชั่งแบบดิจิตอลจากการทดลองที่ i เท่ากับ 1 ถึง 3

ค่าเฉลี่ยจากสมการที่ (8) นำมาคำนวณหาผลต่างเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักระหว่างการไม่เปิดฮีตเตอร์กับเปิดฮีตเตอร์ ตามสมการที่ (9)

$$\Delta\delta = W_N - W_H \quad (9)$$

โดยที่

$\Delta\delta$ = ผลต่างน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)

W_N = น้ำหนักเฉลี่ยแบบไม่เปิดฮีตเตอร์แต่ละชนิดตามตัวก a ในตารางที่ 2 (กรัม)

W_H = น้ำหนักเฉลี่ยถ่านแบบเปิดฮีตเตอร์แต่ละชนิดตามตัวก b, c, d ในตารางที่ 2 (กรัม)

2.3.3 หาค่าความร้อนถ่านอัดแท่ง

ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านทั้ง 3 ชนิดจะถ่ายเทให้กับตัวบอมบ์ ถ้วยใส่เชื้อเพลิง ถังบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ น้ำหล่อเย็นพร้อมอุปกรณ์กวน ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิหน้าด้วยเทอร์โมมิเตอร์ [9] คำนวณค่าความร้อนเชื้อเพลิงตามสมการที่ (10)

$$Q = \left(\frac{W \times \Delta t}{g} \right) - e_1 - e_2 - e_3 \quad (10)$$

โดยที่

Q = ค่าความร้อนถ่าน (เมกะจูลต่อกรัม)

W = ค่าความร้อนจำเพาะแคลอรีมีเตอร์มีค่าเท่ากับ 2,620.62 (เมกะจูลต่อองศาเซลเซียส)

g = ปริมาณมวลเชื้อเพลิงเท่ากับ 1 (กรัม)

Δt = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส) หาค่าได้ตามสมการที่ (11)

e_1 คือ ค่าความร้อนขณะจุดเชื้อเพลิงทดสอบในบรรยากาศ การรวมตัวของไนโตรเจนและออกซิเจนกับไอน้ำกลายเป็นกรดไนตริก หาค่าได้จากจำนวนมิลลิลิตรของน้ำยา NaOH มาตรฐาน (0.0866 N) ที่ใช้ในการ Titration $\times 5(10)^{-6}$

e_2 คือ ค่าความร้อนที่เกิดจากการตกค้างจะเกิดขึ้น จะเกิดกับเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมัน หาค่าได้จากร้อยละ 58.64 ถ้ามะถันในเชื้อเพลิง $\times$ ปริมาณเชื้อเพลิงในตัวอย่าง $\times (10)^{-6}$

โดยปกติค่า e_1 และ e_2 มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความร้อนเชื้อเพลิงกรณีที่ไม่ต้องการความแม่นยำมาก สามารถตัด e_1 , e_2 ทั้งได้ หน่วยเป็น(เมกะจูล)

e_3 คือ ค่าความร้อนเกิดจากการเผาไหม้ลวดชนวนหาค่าได้จาก $1.13 \times$ ความยาวลวดชนวนที่เผาไหม้ (มิลลิเมตร) $\times (10)^{-6}$ ความยาวลวดชนวนเผาไหม้ 120 มิลลิเมตร ดังนั้น $e_3 = 1.13 \times 120 \times (10)^{-6} = 0.0001356$ (เมกะจูล)

$$\Delta t = t_c - t_a - r_1(b-a) - r_2(c-b) \quad (11)$$

โดยที่

a = เวลาก่อนการเผาไหม้(นาท)

b = เวลาก่อนการเผาไหม้ถึงร้อยละ 60 ระหว่างผลต่างอุณหภูมิสูงสุดกับต่ำสุด (นาท)

c = เวลาก่อนการเผาไหม้ถึงอุณหภูมิช่วงการเผาไหม้เริ่มมีค่าคงที่ (นาท)

t_a = อุณหภูมิขณะจุดลวดชนวน (องศาเซลเซียส)

t_c = อุณหภูมิที่ช่วงการเผาไหม้เริ่มคงที่ (องศาเซลเซียส)

r_1 = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิช่วง 5 นาท ก่อนการเผาไหม้ (องศาเซลเซียสต่อนาท)

r_2 = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิหลังเผาไหม้ถ้าอุณหภูมิลดลงค่าเป็นลบ (องศาเซลเซียสต่อนาท)

2.3.4 คุณสมบัติถ่านอัดแท่ง

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง กำหนดคุณลักษณะความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่พบข้อกำหนด

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การหาอัตราส่วนวัสดุประสานพอเหมาะในการอัด

จากรูปที่ 8 พิจารณาที่ความชื้นร้อยละ 80 ได้จากนำผลการทดลองแทนค่าในสมการที่ (7) โดยตัวแปร A คือผลรวมระหว่างผงถ่านเปลือกส้มโอ 2 กิโลกรัม กับวัสดุประสานคือ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำรวม 1.6 กิโลกรัม และ B คือผงถ่านเปลือกส้มโอก่อนผสมวัสดุประสาน 2 กิโลกรัม

$$H = \left(\frac{(2 + 1.6) - 2}{2} \right) \times 100 = 80\%$$

พบว่า ที่ความชื้นร้อยละ 80 ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพจับตัวกันแน่นไม่มีรอยแตกร้าว ดังรูปที่ 9 ในทางตรงข้ามพบว่า ความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 80 ถ่านไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนเนื่องจากวัสดุประสานมีค่าต่ำทำให้ถ่านแห้ง และยังพบว่าที่ความชื้นสูงกว่าร้อยละ 80 ถ่านไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนได้เนื่องจากวัสดุประสานมีค่าสูงทำให้ถ่านเปียก เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนผงถ่านเปลือกส้มโอต่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังและน้ำคือ 2:0.1:1.5 กิโลกรัม ตามลำดับ

น้ำหนักรวม	0.8	1.05	1.1	1.35	1.6	1.65
ความชื้น	40%	53%	55%	68%	80%	83%
แป้ง	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.15
น้ำ	0.75	1	1	1.25	1.5	1.5

รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่แปรผันตามวัสดุประสานโดยคงที่ผงถ่าน 2 กิโลกรัม



รูปที่ 9 ลักษณะถ่านจากเปลือกส้มโอผ่านการอัดที่ความชื้นร้อยละ 80

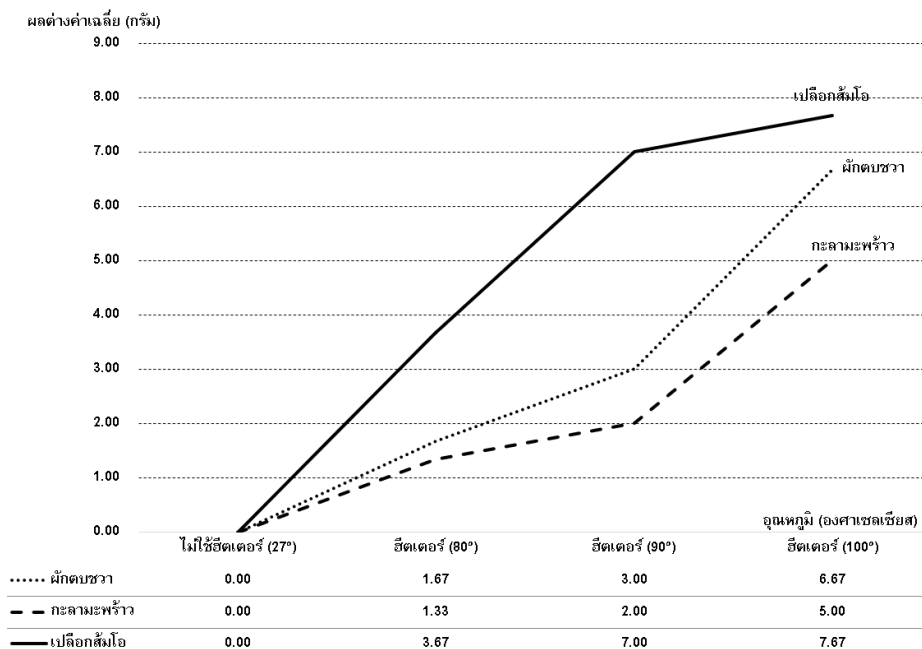
3.2 ผลการทดสอบระหว่างไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยพบว่าทั้ง 3 คอลัมน์มีลักษณะในทิศทางเดียวกัน คือตัวเลขน้ำหนักถ่านมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิฮีตเตอร์สูงขึ้น ซึ่งหมายความว่าทำให้ความร้อนทำให้น้ำในถ่านระเหยออกได้ แต่มีความแตกต่างไม่มากนัก

ตารางที่ 2 น้ำหนักเฉลี่ยถ่านแบบไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์(กรัม)

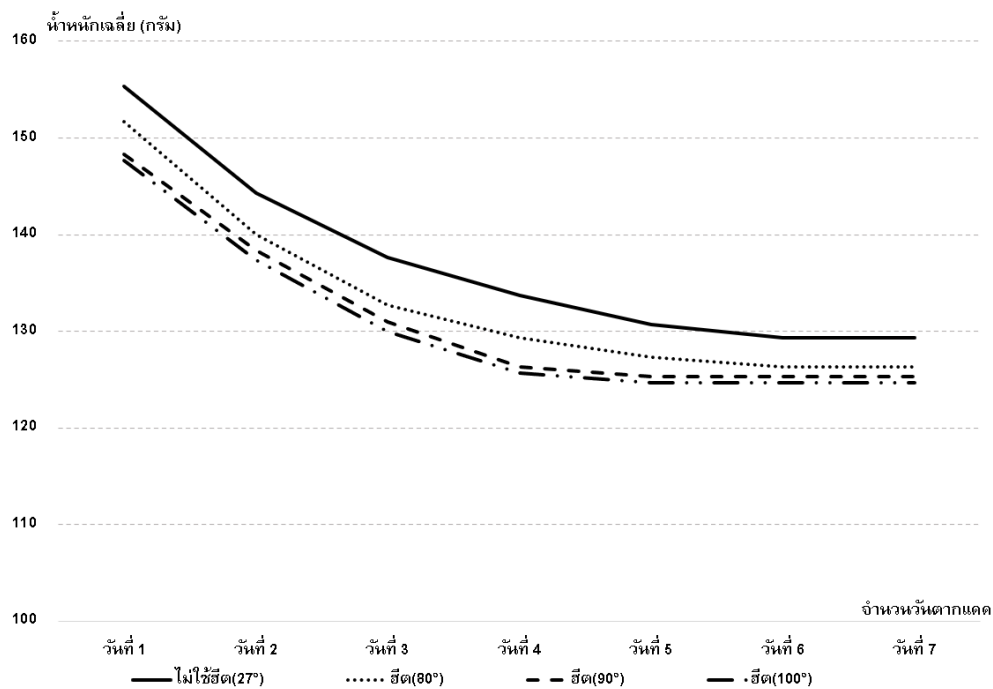
	ผักตบชวา	กะลามะพร้าว	เปลือกส้มโอ
ไม่เปิดฮีต (27°)	149.33	153.33	155.33
ฮีตเตอร์ (80°)	147.67	151.67	151.67
ฮีตเตอร์ (90°)	146.33	151.33	148.33
ฮีตเตอร์ (100°)	142.67	148.33	147.67

รูปที่ 10 แผนภาพมีเส้นแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิ พิจารณาเปลือกส้มโอมีความต่างน้ำหนักเฉลี่ย 7.67 กรัม จะเห็นว่าการอัดถ่านแบบเปิดฮีตเตอร์มีความแตกต่างน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม่เปิดฮีตเตอร์ เนื่องด้วยขณะอัดความร้อนจะเกิดขึ้นได้เองจากการเสียดสีในกระบอกอัด



รูปที่ 10 ผลต่างน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์

จากรูปที่ 11 ผลจากการนำถ่านจากเปลือกส้มโอที่ไม่เปิดฮีตเตอร์กับเปิดฮีตเตอร์ทั้งหมดตากแดด เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการแห้ง พบว่ากราฟเริ่มเป็นเส้นตรงวันที่ 5 ซึ่งหมายถึงมีความแตกต่างน้อยมากระหว่างถ่านไม่เปิดฮีตเตอร์กับเปิดฮีตเตอร์ เพราะทั้ง 2 ชนิดสามารถแห้งตัวได้โดยการตากแดดตั้งแต่วันที่ 5 ขึ้นไป



รูปที่ 11 เทียบเวลาถ่านแห้งโดยตากแดดระหว่างการอัดแบบไม่เปิดฮีตเตอร์กับเปิดฮีตเตอร์

3.3 ค่าความร้อนถ่านอัดแท่ง

ตารางที่ 3 คืออุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงขณะบอมบ์โดยแปรผันตามเวลา ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ก่อนเผาไหม้ ช่วงเผาไหม้ และหลังเผาไหม้ โดยข้อมูลนี้เป็นตัวอย่างการบอมบ์ถ่านเปลือกส้มโอ เพื่อแสดงวิธีการคำนวณหาความร้อนตามสมการที่ (10) และ (11) โดย 1 แคลอรีเท่ากับ 4.1868 จูล

ตารางที่ 3 อุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงขณะบอมบ์เปลือกส้มโอ

ก่อนเผาไหม้		ช่วงเผาไหม้										หลังเผาไหม้	
บันทึกทุก 1 นาที		บันทึกทุก 10 วินาที อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)										บันทึกทุก 1 นาที	
เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ	เวลา	อุณหภูมิ
1	29.16 ^{a, r1}	10	29.24	170	30.55	330	31.11	490	31.26	650	31.30	1	31.30 ^{r2}
2	29.20	20	29.26	180	30.60	340	31.11	500	31.26	660	31.30	2	31.29
3	29.22	30	29.29	190	30.65	350	31.13	510	31.26	670	31.30	3	31.29
4	29.23	40	29.35	200	30.70	360	31.15	520	31.27	680	31.30	4	31.29
5	29.24 ^{a, t0, r1}	50	29.44	210	30.76	370	31.17	530	31.28	690	31.30	5	31.29 ^{r2}
		60	29.52	220	30.80	380	31.18	540	31.28	700	31.30		
		70	29.62	230	30.84	390	31.19	550	31.28	710	31.30		
		80	29.74	240	30.88	400	31.19	560	31.29	720	31.30		
		90	29.84	250	30.91	410	31.20	570	31.30	730	31.30		
		100	29.95	260	30.94	420	31.21	580	31.31	740	31.30		
		110	30.05	270	30.97	430	31.22	590	31.30	750	31.30		
		120	30.15	280	31.00	440	31.23	600	31.30	760	31.30		
		130	30.22	290	31.02	450	31.24	610	31.30	770	31.30		
		140	30.32	300	31.04	460	31.25	620	31.30	780	31.30		
		150	30.40	310	31.07	470	31.25	630	31.31	790	31.30		
		160	30.48 ^b	320	31.09	480	31.25	640	31.30	800	31.30		
										810	31.30 ^c		

หมายเหตุ: - อักษร a, t₀, r₁, c, t_c, r₂ หมายถึง จุดที่นำไปคำนวณหาค่าตามสมการที่ (11)

- อักษร b หมายถึง เวลาก่อนการเผาไหม้ร้อยละ 60 ระหว่างผลต่างอุณหภูมิสูงสุดกับต่ำสุดหาได้จาก $((31.30 - 29.16) \times 0.6) + 29.24 = 30.48$ (องศาเซลเซียส)

จากตารางที่ 3 คำนวณหาอุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น หาค่าได้ตามสมการที่ (11) โดยพิจารณารูปที่ 12 ประกอบ

a = ช่วงอุณหภูมิ 29.16 ถึง 29.24 (องศาเซลเซียส) = ใช้เวลา 5 (นาที)

b = ช่วงอุณหภูมิ 29.16 ถึง 30.48 (องศาเซลเซียส) = ใช้เวลา $5 + \left(\frac{160}{60}\right) = 7.67$ (นาที)

c = ช่วงอุณหภูมิ 29.16 ถึง 810 (องศาเซลเซียส) = ใช้เวลา $5 + \left(\frac{810}{60}\right) = 18.50$ (นาที)

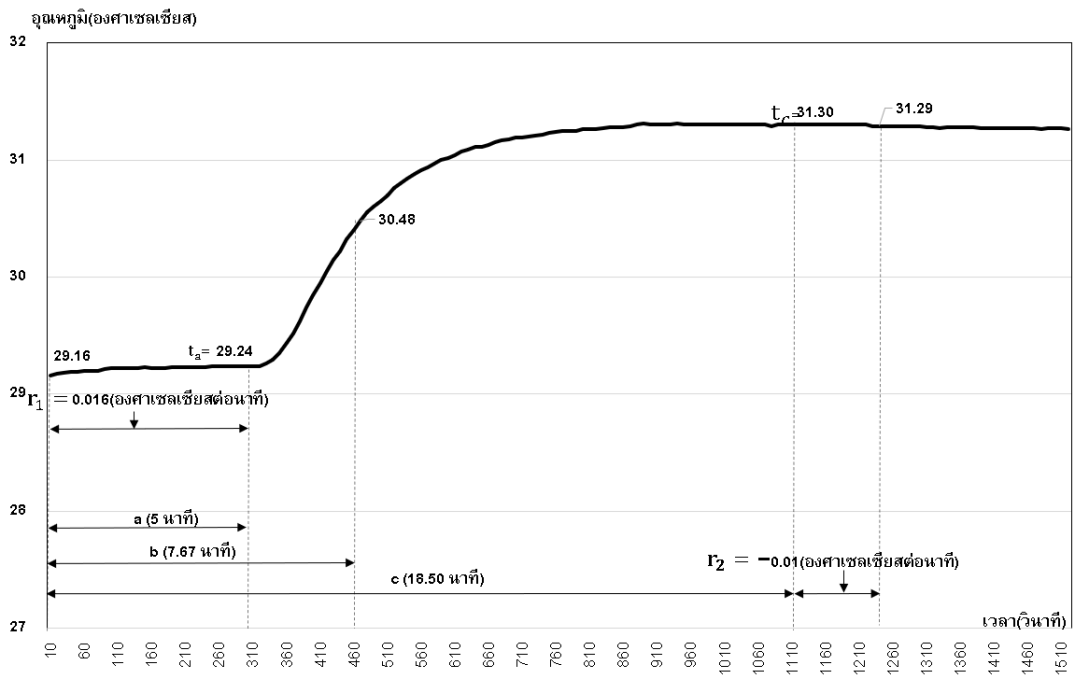
$$t_a = 29.4 \text{ (องศาเซลเซียส)}$$

$$t_c = 31.3 \text{ (องศาเซลเซียส)}$$

$$r_1 = \frac{(29.24 - 29.16)}{5} = 0.016 \text{ (องศาเซลเซียสต่อนาที)}$$

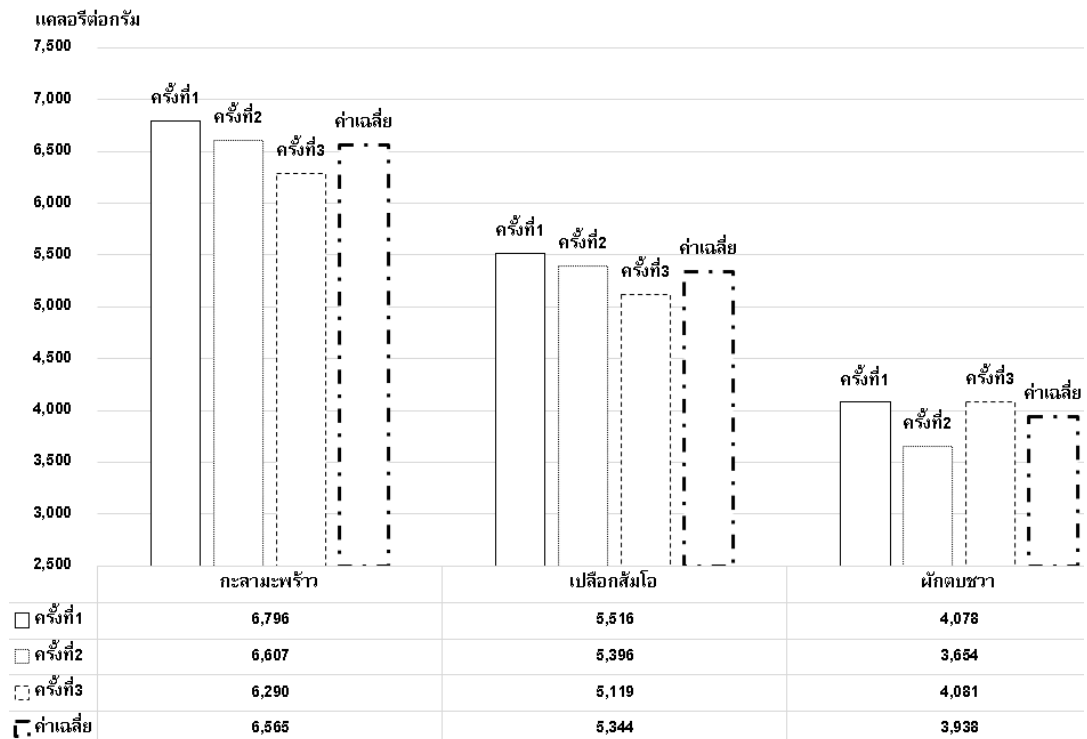
$$r_2 = \frac{(31.29 - 31.30)}{5} = -0.01 \text{ (องศาเซลเซียสต่อนาที)}$$

จากตารางที่ 3 เขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเพื่อแสดงตำแหน่งตัวแปรตามสมการที่ 11



รูปที่ 12 อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาเพื่อแสดงจุดต่างๆตามสมการที่ 11

บอมบ์ถ่านทั้ง 3 ชนิด ตามขั้นตอนดังกล่าวซ้ำชนิดละ 3 ครั้งเพื่อหาค่าความร้อนและค่าเฉลี่ย ดังรูปที่ 13 โดยใช้อัตราส่วนผสมตามหัวข้อ 3.1



รูปที่ 13 ค่าความร้อนเฉลี่ยถ่านอัดแท่ง 3 ชนิด

พิจารณาถ่านอัดแท่งกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนเฉลี่ย 6,565 แคลอรีต่อกรัม โดยเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล [10] รายงานไว้ว่า ถ่านกะลามะพร้าวที่ยังไม่อัดแท่งมีค่าความร้อน 7,760 แคลอรีต่อกรัม จากการสังเกตพบว่า ภายในถั่วหลังการบอมบ์มีเศษเหลือจากการเผาไหม้คือแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ผสมเป็นวัสดุประสานดังรูปที่ 14 จึงสรุปได้ว่าการใช้วัสดุประสานผสมในผงถ่านมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลงถ่านอัดแท่งจากเปลือกส้มโอมีค่าความร้อนเฉลี่ย 5,344 แคลอรีต่อกรัม เทียบกับกำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม และถ่านผักตบชวามีค่าความร้อนเฉลี่ย 3,938 แคลอรีต่อกรัมซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์



รูปที่ 14 ถั่วบอมบ์หลังการเผาไหม้พบวัสดุประสานคือแป้งมันสำปะหลังไม่เกิดการเผาไหม้

3.4 วิเคราะห์คุณสมบัติถ่านอัดแท่ง

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านอัดแท่ง

รายงาน การวิเคราะห์ (%)	ถ่านกะลามะพร้าว			ถ่านเปลือกส้มโอ			ถ่านผักตบชวา		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ปริมาณความชื้น	8.64	8.47 ^a	-	11.14	8.35 ^a	-	9.36	8.14 ^a	-
ปริมาณสารระเหย ^a	18.06	18.10	20.15	25.19	25.98	29.22	21.30	21.59	24.09
ปริมาณเถ้า ^a	7.55	7.56	8.26	19.43	20.04	21.87	51.73	52.43	57.07
ปริมาณคาร์บอนคงตัว ^a	65.75	65.87	71.59	44.24	45.63	48.91	17.61	17.84	18.84

หมายเหตุ: อักษร a หมายถึง ห้องปฏิบัติการทดสอบยังไม่ได้รับการรับรองในขอบข่ายที่แสดงเครื่องหมาย

1 = As received คือ ค่าที่คำนวณจากสภาพตัวอย่างที่ได้รับ

2 = As determined คือ ค่าที่คำนวณจากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างและความชื้นเหลืออยู่เท่ากับขณะทดสอบ

3 = As dry คือ ค่าที่คำนวณจากตัวอย่างที่ปราศจากความชื้น

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นถ่านทั้ง 3 ชนิด เมื่อผ่านการตากแดดมากกว่า 5 วัน มีค่าความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึง 11 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ปริมาณสารระเหยถ่านเปลือกส้มโอและถ่านผักตบชวามีค่าสูงกว่าถ่านกะลามะพร้าว เนื่องจากกะลามะพร้าวมีองค์ประกอบของคาร์บอนมากกว่า ปริมาณเถ้าผักตบชวามีค่าสูงมากที่สุด เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัวถ่านกะลามะพร้าวมีค่ามากที่สุด

4. สรุป

- ผลการหาอัตราส่วนวัสดุประสานพอเหมาะในการอัด ควรมีค่าความชื้นหลังผสมวัสดุประสานร้อยละ 80 ในทางตรงกันข้าม หากความชื้นมีค่าต่ำหรือมีค่าสูง หมายถึงส่วนผสมแห้งหรือเปียก กรณีนี้เป็นสาเหตุทำให้ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้

- ผลการทดสอบแบบไม่เปิดกับเปิดฮีตเตอร์ พบว่าสามารถทำให้น้ำในถ่านระเหยได้ไม่มาก แต่เมื่อพิจารณาที่ผลการตากแดด พบว่าใช้เวลาในการตากแดดเพื่อให้แห้งเท่ากันประมาณ 5 วัน ทั้งแบบไม่เปิดฮีตเตอร์และเปิดฮีตเตอร์ จึงสรุปได้ว่า ไม่ควรใช้ฮีตเตอร์ให้ความร้อนขณะอัด เพราะความร้อนจะเกิดขึ้นได้เองจากการเสียดสีสะสม

- เปลือกส้มโอสามารถทำถ่านอัดแท่งได้ โดยพบว่าค่าความร้อนผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน คือสูงกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม และพบว่าวัสดุประสานคือแป้งมันสำปะหลัง จะไม่เกิดการเผาไหม้และทำให้ค่าความร้อนลดต่ำลงตามไปด้วย

- ผลวิเคราะห์ค่าความชื้นหลังผ่านการตากแดดมากกว่า 5 วัน พบว่ามีลักษณะคล้ายกับถ่านกะลามะพร้าวและผักตบชวา คือมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8 ถึง 11

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนงบวิจัย เงินรายได้ประจำปี 2563 รหัสทุน C-71/2563 เครื่องอัดถ่านผสมจากเปลือกส้มโอแบบไล่ความชื้น โดยอัตโนมัติและห้องปฏิบัติการทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Disthai. Properties and research information of pomelo. [Article]. 2017 [cited 2021 Aug 31]. Available from: <https://www.disthai.com/17066273/%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%AD> (In Thai)
- [2] Lalun K, Sudachan S, Chansiri C. Effects of charcoal type and screw pressing speed on the performance of screw press unit and quality of charcoal block. Proceeding of 13th International Thai Society of Agricultural Engineering (TSAE); 2020. p. 284-90. (In Thai)
- [3] Yumon P. Development of a cold production biomass charcoal briquette machine to use waste from coffee bean processing. Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal 2016;9(1):34-48. (In Thai)
- [4] Tantisattayakul T, Saidam K, Phusongsri S. Feasibility Study of Biomass Briquettes Production from Pineapple Peel. Thai Science and Technology Journal 2015;23(5 Suppl);754-73. (In Thai)
- [5] Taungtip P. A study of fuel briquette form durian peel substitute for firewood and charcoal in household uses [Master's degree] [Internet]. Bangkok: Chulalongkorn University; 1999. 1999 [cited 2021 Sep 17] Available from: <http://www.thaithesis.org/detail.php?id=44120> (In Thai)
- [6] Thai industrial standard institute ministry of industry. [Internet]. 2021 [cited 2021 Sep 9]. Available from: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238_47.pdf (In Thai)

- [7] Ungphakorn V. Thanadngarn C. Machine design vol1. Bangkok: SE-Education; 2013. (In Thai)
- [8] Technology Instruments Co., Ltd. I want to order a heater [Internet]. 2021 [cited 2021 Aug 16]. Available from: <http://www.tic.co.th/index.php?op=tips-detail&id=201> (In Thai)
- [9] ESSOM Co., Ltd. Manual to using the fuel calorimeter tester vol 1. Bangkok: ESSOM; 2009. (In Thai)
- [10] Department of Science Service. Heating value of biomass and charcoal [Internet]. 2021 [cited 2021 Sep 9]. Available from: http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2515_70_9.pdf (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย จีรวงศ์นุสรณ์ อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 96 ถนน พุทธมณฑลสาย 5 ตำบล ศาลายา อำเภอพุทธมณฑล นครปฐม 73170 เบอร์โทรศัพท์ 0957673353 E-Mail: sirichai.jir@rmutr.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: พลังงานทางเลือก การลดมลพิษของเครื่องสันดาป



ผู้ช่วยศาสตราจารย์จังหวัด เจริญสุข อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ 62/1 (ในเมือง) ถนนเกษตรสมบูรณ์ ตำบลกาฬสินธุ์ อำเภอเมือง กาฬสินธุ์ 46000 เบอร์โทรศัพท์ 0807712919 E-Mail: changwatch@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: พลังงานทางเลือก

Article History:

Received: December 19, 2021

Revised: April 23, 2022

Accepted: April 29, 2022

การศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาช่อนทะเลด้วยโรงเรือนอบแห้ง
พลังงานแสงอาทิตย์

A STUDY OF DRYING KINETICS OF SALTED COBIA FISH DRYING
IN A SOLAR GREENHOUSE

กมลวรรณ จิตจักร¹ และ แสนเชิง พรหมชิต²

¹อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110,
kamonwan_ji@rmutto.ac.th

²เจ้าหน้าที่เหล่าทหารสารบรรณ ฝูงบิน 603, กองบิน 6 กองทัพอากาศไทย, ถนนพหลโยธิน
เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร 10220, iamthunder@icloud.com

Kamonwan Jitjack¹ and Sanchoeng Promchit²

¹Lecturer, Program in Energy Technology, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, 43 Village No. 6 Bang Phra Sub-district,
Siracha District, Chonburi 20110, Thailand, kamonwan_ji@rmutto.ac.th

²Administrative Squadron 603, Wing 6, Royal Thai Air Force, Phaholyothin Road,
Don Mueang, Bangkok 10220, Thailand, iamthunder@icloud.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยศึกษาค่าความชื้นในกรณีที่มีอัตราการไหลอากาศภายในโรงเรือนที่แตกต่างกัน 2 ระบบคือ ปิดพัดลมระบายอากาศ และระบบเปิดพัดลมระบายอากาศ เปรียบเทียบกับการตากแดดธรรมชาติ และศึกษาคุณภาพหลังการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ ด้านสี ปริมาณน้ำอิสระ และความแข็งของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง พร้อมทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็ม จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งภายในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งสองระบบมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าแบบตากแดด โดยการอบแห้งแบบเปิดพัดลมระบายอากาศมีอัตราการอบแห้งเร็วที่สุดคือ 21 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาเทียบกับจากค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับปลาที่วางจำหน่ายในท้องตลาดคือ 45 %d.b. และค่าสีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป แต่มีค่าความแข็งมากที่สุดซึ่งมีความต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับทุกระบบ ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งทุกระบบมีค่าอยู่ในช่วง 0.55-0.58 ซึ่งต่ำกว่า 0.6 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์

มาตรฐานอาหารแห้ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลแบบ Logarithmic สามารถทำนาย อัตราส่วนการอบแห้งปลาช่อนทะเลได้ดีที่สุดทั้งสองระบบ

คำสำคัญ: โรงเรือนอบแห้ง, พลังงานแสงอาทิตย์, ปลาช่อนทะเลเค็ม

ABSTRACT

This research was aimed to investigate the drying kinetic of salted Cobia fish drying in a solar greenhouse. The moisture content in different airflow rates of the greenhouse were examined in two systems: ventilation fan off or natural convection and ventilation fan on or force convection. The performance of both systems was compared to open sun drying performance. The quality of the samples was evaluated regarding color, water activity, and hardness. Mathematical model was also applied in this study. The results revealed that the drying in the solar greenhouse was obviously faster than the open sun drying and drying rate where the ventilation fan on took the shortest time in only 21 hours, considering at the same final moisture content of the products on the market 45% d.b. The color of the samples was also not different, but the hardness was statistically significant with $p>0.05$. The water activity of the samples was less than 0.6 and was agreeable to the Thai agricultural standard. Logarithmic mathematical model was the most accurate for both systems.

KEYWORDS: Greenhouse drying, Solar Energy, Salted Cobia

1. บทนำ

ปลาช่อนทะเลเค็มตากแห้งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารทะเลอีกประเภทหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งของคนในพื้นที่และนิยมซื้อเป็นของฝากจากแหล่งท่องเที่ยวชายทะเล โดยกรรมวิธีการผลิตของชาวประมงพื้นถิ่นส่วนใหญ่ใช้วิธีการตากแดด ซึ่งจะใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในขณะการผลิต ในระหว่างกระบวนการตากแดดโดยตรงอาจมีสิ่งสกปรกปนเปื้อน เช่น ฝุ่นละออง มด แมลงวัน เป็นต้น ในวันที่ทำค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ ทำการตากแดดยาวนานมากขึ้น อาจมีผลทำให้เกิดเชื้อราขึ้นที่ตัวปลา ทำให้คุณภาพของปลาดำ การทำแห้งด้วยวิธีการตากแดด เป็นการใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง โดยใช้หลักการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) ร่วมกับแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานความร้อนมาก การอบแห้งเป็นการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในเนื้อวัสดุทำให้น้ำหรือความชื้นกลายเป็นไอระเหยอออกไปจากผิววัสดุ ซึ่งพลังงานความร้อนที่การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) การแผ่รังสี (Radiation) ซึ่งความร้อนที่วัสดุได้รับ

เป็นค่าความร้อนแฝงของการระเหย [1] และในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่าง ๆ เช่น สี ความหนืด กลิ่น รสชาติ และโครงสร้างอาจมีการสูญเสียได้ [2] จึงต้องมีการควบคุมค่าอุณหภูมิในการอบแห้งให้เหมาะสม หากอุณหภูมิในการอบแห้งน้อยเกินไปก็ทำให้ปลาเกิดความเสียหาย เช่น เน่าหรือมีกลิ่น แต่หากมีอุณหภูมิมากเกินไป จะทำให้ปลาสุกขณะทำการอบแห้งได้

เพื่อเป็นการลดปัญหาการทำแห้งปลาช่อนทะเลเค็มของเกษตรกร การนำเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดปัญหาในการอบแห้งปลาได้ โดยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ รังสีแสงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนโชบแห้ง [3] คล้ายกับปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจก เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบกับหลังคาโรงเรือนซึ่งทำจากวัสดุโปร่งใส บางส่วนจะสะท้อนออกสู่บรรยากาศ และมีรังสีอาทิตย์คลื่นสั้นเคลื่อนที่มายังภายในโรงเรือน เกิดการตกกระทบและดูดกลืนกับวัสดุต่าง ๆ ภายในโรงเรือนทำให้รังสีคลื่นสั้นมีค่าพลังงานลดลง กลายเป็นรังสีอาทิตย์คลื่นยาวซึ่งเป็นรังสีความร้อนหรืออินฟราเรด ซึ่งไม่สามารถผ่านออกจากแผ่นปกคลุมได้ ทำให้ความร้อนภายในโรงเรือนมีค่าสูงขึ้นและถ่ายเทไปยังผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบแห้งในโรงเรือน [4] ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกสู่อากาศภายในโรงเรือน และความชื้นดังกล่าวจะเคลื่อนออกจากโรงเรือนผ่านช่องระบาย ซึ่งการนำอากาศชื้นไหลออกสู่ภายนอกมี 2 รูปแบบคือการพาโดยธรรมชาติและการพาโดยใช้แรงบังคับจากภายนอกโดยใช้พัดลมระบายอากาศ แต่ทั้งนี้ต้องมีการควบคุมค่าอุณหภูมิในการอบแห้งให้เหมาะสมเพื่อรักษาคุณภาพของปลาหลังการอบแห้ง หากอุณหภูมิในการอบแห้งน้อยเกินไป ก็ทำให้ปลาเกิดความเสียหาย เช่น เน่าหรือมีกลิ่น แต่หากมีอุณหภูมิมากเกินไป จะทำให้ปลาสุกขณะทำการอบแห้งก่อให้เกิดความเสียหายกับปลาแห้งได้เช่นกัน ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาจลนศาสตร์ของการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีอัตราการไหลอากาศภายในโรงเรือนที่แตกต่างกัน 2 ระบบ คือการพาอากาศออกจากโรงเรือนแบบธรรมชาติ โดยการปิดพัดลมระบายอากาศและแบบบังคับโดยการเปิดพัดลมระบายอากาศ เปรียบเทียบกับการตากแดดดั้งเดิมของเกษตรกร แล้วศึกษาคุณภาพหลังการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ ด้านสี ปริมาณน้ำอิสระ และเนื้อสัมผัสของปลาหลังการอบแห้ง พร้อมทั้งหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็ม

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

โรงเรือนอบแห้งรูปทรงพาราโบลาเพิ่มพื้นที่ด้านข้าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน [5-7] โดยโรงเรือนมีขนาด 3.0x3.5x1.55 เมตร (กว้างxยาวxสูง) ปกคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต

ชนิดใสแบบป้องกันแสงยูวี ด้านหน้ามีประตูเข้าเพื่อนำผลิตภัณฑ์เข้าอบแห้งและบริเวณด้านซ้ายและขวาทางเข้าโรงเรือน มีช่องอากาศเข้าจำนวน 2 ช่อง ด้านหลังติดตั้งพัดลมระบายอากาศซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลของอากาศได้ โดยใส่ตาข่ายตรงช่องทางเข้าอากาศด้านหน้าและช่องพัดลมด้านหลัง เพื่อป้องกันการรบกวนของแมลงที่จะเข้าไปในโรงเรือน ตัวโครงสร้างโรงเรือนวางบนพื้นคอนกรีต ที่ทำสี่ผืนผ้าเป็นสีดำเพื่อเพิ่มการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ให้กับโรงเรือน ด้านล่างของโรงเรือนก่อนการเทพื้นคอนกรีตได้ทำการปูแผ่นพลาสติกอย่างหนา ก่อนหลังการปรับพื้นที่เสร็จ เพื่อเป็นการป้องกันความชื้นจากดินด้านล่างผ่านคอนกรีตเข้าสู่โรงเรือนอบแห้ง [8]



รูปที่ 1 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มพื้นที่รับแสงด้านข้าง

2.2 วิธีการทดลอง

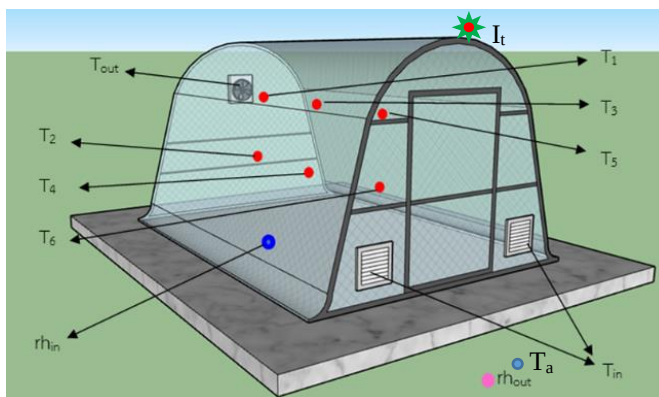
ทำการทดลองอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ระบบ เทียบกับการตากแดด คือ ระบบปิดพัดลมระบายอากาศ และระบบเปิดพัดลมระบายอากาศ ที่อัตราการไหลอากาศ $204 \text{ m}^3/\text{h}$ ซึ่งทั้งสองระบบทำการเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดภายนอกโรงเรือน โดยกระบวนการเริ่มจากการเตรียมปลาช่อนทะเลเค็ม นำปลาช่อนทะเลสดขนาด 9-10 ตัวต่อกิโลกรัม ถอดเกล็ด เอาหัวและเครื่องในออก ล้างสะอาดทำความสะอาด แล้วนำมาแช่น้ำเกลือเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมงด้วยอัตราส่วนน้ำเปล่าต่อเกลือ $3,000 \text{ ml} : 0.5 \text{ kg}$ [6] แสดงดังรูปที่ 2 เมื่อครบเวลานำออกจากน้ำเกลือล้างน้ำสะอาดอีกรอบเพื่อเตรียมอบแห้ง

การอบแห้งทำการอบแห้งทั้งสองระบบเทียบกับวิธีการตากแดดภายนอกโรงเรือน ในแต่ละครั้งใช้ปลาช่อนจำนวน 5 kg วางอบแห้งในโรงเรือนอบแห้ง และนำตัวอย่างทั้งภายในและภายนอกโรงเรือนจำนวน 1 kg ใส่ตะแกรงแยกไว้เพื่อใช้ในการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 30 นาที โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ยี่ห้อ AND รุ่น GF-3000 ความแม่นยำ $\pm 0.02 \text{ g}$ ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 8.00-18.00 น. ของแต่ละวันจนกว่าน้ำหนักปลาไม่ลดลง บันทึกข้อมูลในระหว่างการเก็บผลการทดลอง คือค่าอุณหภูมิแต่ละจุดภายในโรงเรือน (T_{1-6}) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_{am}) อุณหภูมิตำแหน่งทางเข้าโรงเรือน (T_{in}) และทางออกโรงเรือนหลังพัดลม (T_{out}) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายใน

โรงเรือน (rh_{in}) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอกโรงเรือน (rh_{out}) โดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K-type) ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ Graphtec รุ่น GL 820 บันทึกค่าทุก ๆ 5 นาที และวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (I_t) ด้วยเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (pyranometer) ยี่ห้อ KIPP&ZONEN รุ่น CMP11 ดังแสดงตำแหน่งการติดตั้งรูปที่ 3



รูปที่ 2 วิธีการเตรียมปลาช่อนทะเลก่อนนำมาทดลองอบแห้ง



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดค่าต่าง ๆ ของการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็ม

วิธีการหาค่าความชื้นก่อนและหลังการอบแห้ง นำปลาตัวอย่างจากการอบแห้งภายในและภายนอกโรงเรือนมาสับเป็นชิ้นเล็ก ๆ บรรจุในกระป๋องมอยเจอร์แคน เข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน AOAC [9] แล้วนำน้ำหนักแห้งไปคำนวณหาปริมาณ

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Moisture content dry basis) การหาปริมาณความชื้นของปลาช่อนทะเลเค็มที่ลดลงตามเวลาการอบแห้ง สามารถหาได้จากดังสมการที่ (1) [10]

$$M_{db} = \frac{W - W_d}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_{db} คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%d.b.)

W คือ น้ำหนักของปลาช่อนทะเลเค็มที่เวลาใด ๆ (g)

W_d คือ น้ำหนักแห้งของปลาช่อนทะเลเค็ม (g)

การกำหนดค่าความชื้นสมดุลในงานวิจัยนี้ กำหนดให้มีค่าน้อยมากเทียบกับความชื้นที่เวลาใด ๆ และที่ความชื้นเริ่มต้น ($M_{eq} < M_t$, $M_{eq} < M_0$) ดังนั้นอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio) สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (2) [11]

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (2)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น (decimal)

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ (%d.b.)

M_0 คือ ความชื้นเริ่มต้น (%d.b.)

2.3 การวัดคุณภาพปลาช่อนทะเล

2.3.1 การทดสอบสี

ทดสอบคุณภาพสีของปลาช่อนทะเลเค็มแห้งด้วยเครื่อง Portable Colorimeter 3NH รุ่น NH310 มาตรฐานชนิดแหล่งกำเนิดแสง D65 ระบบสีที่วัดได้คือ CIE แบบ $L^* a^* b^*$ ให้ความสว่างที่ 6500 K ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดสีน้อยกว่า 0.04 ซึ่งเป็นรูปแบบที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เมื่อ L^* แสดงถึงค่าความสว่างมีค่า 0-100 โดยค่า 0 คือ สีดำ และค่า 100 คือ สีขาว a แสดงถึงสีเขียว แสดงสีแดง (+a) ถึงสีเขียว (-a) และค่า b แสดงสีเหลือง (+b) ถึงสีน้ำเงิน (-b) ทำการวัดสีหลังการอบแห้ง ที่บริเวณเนื้อปลาถัดจากพุงปลาด้านซ้ายหรือขวาที่ไม่มีกระดูกก้างปลา ในตำแหน่งเดิมทุกครั้งที่ทำกรวัดสี ระบบละ 15 ตัวอย่าง แล้วนำค่าสีที่วัดได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ



รูปที่ 4 เครื่องวัดสี Portable colorimeter

2.3.2 การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ

การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง เป็นการบอกให้ทราบถึงค่าปริมาณน้ำภายในเนื้อผลิตภัณฑ์มีค่าระดับใด อยู่ในระดับที่จุลชีพต่าง ๆ เจริญได้หรือไม่ หรืออยู่ในมาตรฐานของอาหารแห้งหรือไม่ ดังนั้นจึงทำการวัดค่าปริมาณน้ำอิสระของปลาช่อนทะเลเค็มหลังจากการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองระบบเทียบกับการตากแดดธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ปลาช่อนทะเลเค็มในท้องตลาด เพื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ได้กับค่ามาตรฐานอาหารแห้ง โดยทำการวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณความชื้นอิสระ รุ่น aqua lab series 3 ความแม่นยำ ± 0.003 ความละเอียด ± 0.001 ดังรูปที่ 5 โดยทำการวัดระบบละ 15 ตัวอย่างและนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ



รูปที่ 5 เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ

2.3.3 การวัดสมบัติทางด้านเนื้อผิว

การวัดค่าเนื้อสัมผัส เป็นคุณลักษณะด้านการต้านทานของอาหารต่อสิ่งที่มากระทำ ซึ่งการอธิบายคุณลักษณะด้านความแข็งขึ้นอยู่กับวิธีการวัดค่าซึ่งค่าแรงที่แสดงออกมาจะเป็นค่าแรงสูงสุดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการวัดค่า โดยเฉพาะขนาดของหัววัดและระยะทางที่ทำการวัด ซึ่งในการทดลองวัดครั้งนี้ได้เลือกใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส texture analyzer โดยเลือกใช้หัวตัดใบมีดขนาดความยาว 10 cm เคลื่อนที่ไปกดตัดชิ้นวัสดุ โดยพิจารณาถึงแรงต้านทานสูงสุด (hardness) ก่อนที่

ชั้นวัสดุจะเกิดการแตกหัก ซึ่งค่าที่อ่านได้จะแสดงอยู่ในรูปของกราฟที่บ่งบอกถึงแรงที่ใช้ในการกด เจือนวัสดุให้ฉีกขาด ความเร็วในการตัด 1.5 mm/s ใช้ในการทดลองเครื่องวัดสมบัติทางด้านพื้นผิว ta.xt.plus โดยใช้หัว texture profile analysis ซึ่งจะส่งผลการทดสอบออกมาเป็นกราฟระหว่างแรง กับเวลาหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ได้จากการทดสอบมาเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายเนื้อสัมผัส เป็นค่าความแข็งหรือความกระด้าง (hardness) ซึ่งพิจารณาจากแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกด หรือเทียบกับการกดครั้งแรก มีวิธีคือนำปลาช่อนทะเลเค็มที่อบแห้งแต่ละระบบแล้วมาตัดเป็นชิ้น ขนาดกว้าง 0.5 cm ยาว 1 cm แล้วเข้าเครื่องระบบละ 15 ตัวอย่างแล้วนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผล ต่อไป



รูปที่ 6 เครื่องวัดสมบัติเนื้อสัมผัสและหัวกด Texture Profile Analysis

2.3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลของการอบแห้งปลาช่อนทะเล

การหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอบแห้งปลาช่อนทะเล เค็ม โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปสมการอบแห้งแบบเอมพิริคัลแบบชั้นบาง จำนวน 5 แบบจำลอง ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบวิธีการถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Regression) เพื่อเลือกสมการที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ที่เหมาะสมที่มีค่าสูงที่สุด ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อน กำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error, RMSE) ซึ่งต้องมีค่าต่ำที่สุด ดังสมการที่ (3) และ (4) [12]

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบาง [13-16]

ลำดับที่	สมการแบบจำลอง	ชื่อแบบจำลอง
1	$MR = \exp(-kt)$	Lewis
2	$MR = \exp(-kt^n)$	Page
3	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis
4	$MR = a \exp(-kt) + c$	Logarithmic
5	$MR = \exp(-(kt)^n)$	Modified Page

หมายเหตุ: a, c, k และ n คือค่าคงที่ซึ่งจะได้จากการวิเคราะห์แบบจำลอง และ t คือเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{exp,ave}})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})^2 \right]} \quad (4)$$

เมื่อ $MR_{\text{exp},i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง (decimal)

$MR_{\text{exp,ave}}$ คือ อัตราส่วนความชื้นจากการทดลองเฉลี่ย (decimal)

$MR_{\text{pre},i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นจากการคำนวณได้จากสมการเอมพิริคัล (decimal)

N คือ จำนวนข้อมูลจากการทดลอง

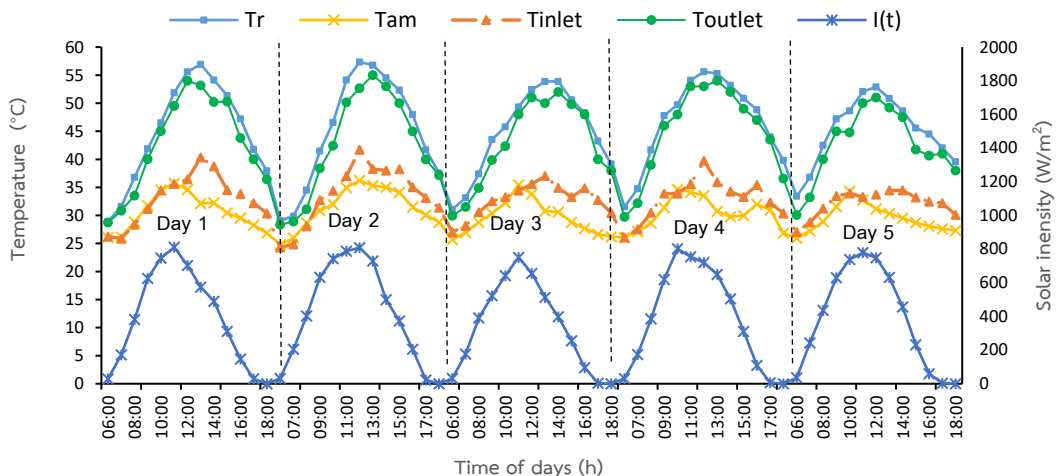
3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดลองอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็ม

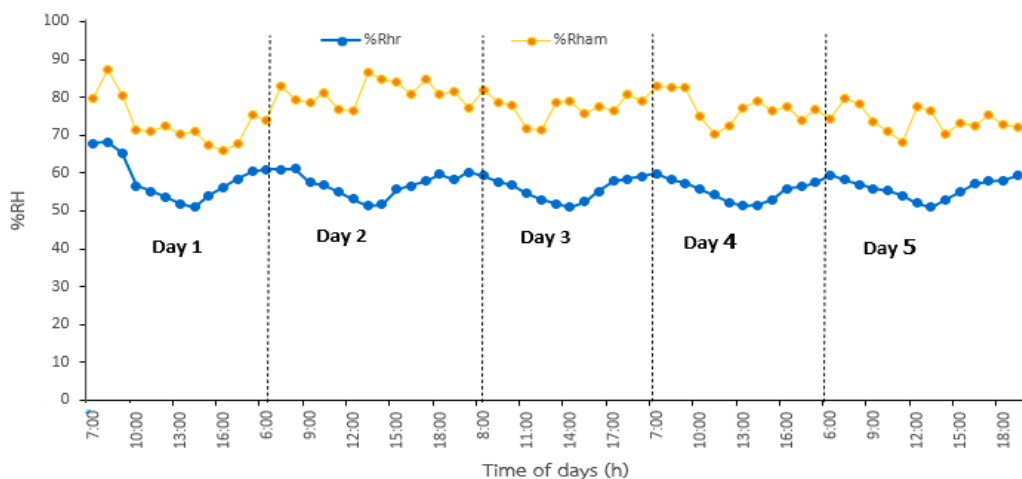
3.1.1 ระบบปิดพัฒน

ระบบนี้ทำการอบแห้งภายในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ปิดพักระบายอากาศเปรียบเทียบการตากแดดปกติ ซึ่งถือเป็นระบบการพาความร้อนแบบธรรมชาติ โดยอาศัยความแตกต่างกันของความหนาแน่นอากาศที่เกิดจากการความต่างของอุณหภูมิให้เกิดการไหลของอากาศภายในสู่ภายนอกโรงเรือน ผ่านช่องระบายอากาศซึ่งเปิดอยู่ด้านท้ายของโรงเรือนอบแห้ง

การทดลองได้ดำเนินการในวันที่ 7-11 พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝนและเริ่มต้นฤดูหนาว ได้ผลการทดลองดังกราฟในรูปที่ 6-8



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายใน อุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออกโรงเรือน อบแห้ง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลาที่ทดลอง

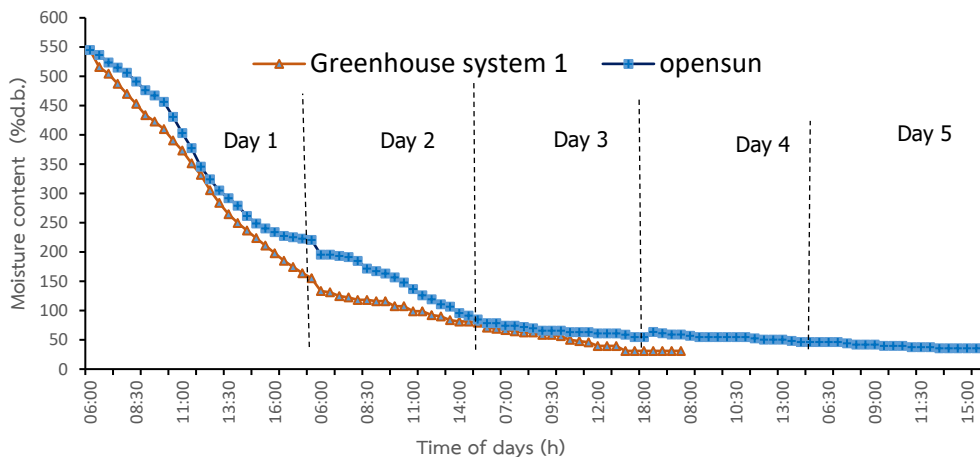


รูปที่ 7 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนอบแห้งระบบปิดพัฒลกับความสัมพันธ์แวดล้อมในช่วงเวลาที่ทดลอง

จากรูปที่ 6-7 พบว่าค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้ง มีค่าเฉลี่ย 45.2°C สูงกว่าภายนอก โดยภายนอกโรงเรือนมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 30.1°C ซึ่งมีค่าความแตกต่างอุณหภูมิถึง 15°C ค่า

ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดในช่วงการทดลอง 743.80 W/m^2 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเฉลี่ย 56.3% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าภายนอกเนื่องจากค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าภายนอก ทำให้ค่าความชื้นมีค่าน้อย โดยค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในโรงเรือนจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงในช่วงเที่ยง อุณหภูมิภายในโรงเรือนจะขยับสูงตามไปด้วย และมีการสะสมความร้อนภายในโรงเรือนในช่วงบ่าย จึงทำให้ค่าอุณหภูมิภายในเพิ่มสูงต่อเนื่อง และเมื่อพิจารณาความชื้นที่ลดลงตามเวลาดังรูปที่ 8 เมื่อเริ่มทำการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มมีค่าความชื้น 550 % d.b. การอบแห้งในช่วงแรกที่ค่าอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นแต่ไม่มากพอจะเป็นช่วงที่เริ่มให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ เมื่อเวลาผ่านไปค่าอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น เริ่มมีการถ่ายเทความร้อนให้กับปลา ในช่วงนี้ความชื้นในเนื้อปลามีมากเมื่อเริ่มได้รับความร้อน ความร้อนจะมีการถ่ายเทไปยังผิวหนังของปลา เกิดระเหยน้ำออกจากตัวปลา เรียกการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period) เป็นช่วงที่น้ำในเนื้อปลาระเหยเป็นไออย่างต่อเนื่องคล้ายกับการระเหยของน้ำโดยทั่วไป โดยวันแรกของการทดลองค่าความชื้นที่ลดลงตามเวลาของการอบแห้งในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าทุกวันของการทดลอง และเมื่อความชื้นในเนื้อปลาลดลงจะทำให้การอบแห้งจะช้าลง เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate regime) ความชื้นของน้ำที่ผิวของวัสดุระเหยหมดไป เพราะการถ่ายเทความชื้นของน้ำจากภายในวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันวัสดุจะอยู่ในสภาพแห้งและอุณหภูมิผิวสูงขึ้น และทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งต่อจากช่วงแรกจะเกิดขึ้นตั้งแต่วันที่ 2 ของการทดลอง ตามกราฟในรูปที่ 8 ทั้งนี้เมื่อความชื้นระเหยออกมาในกรณีที่ไม่มีการเปิดพัดลมระบายอากาศ ความชื้นที่ระเหยออกจะทำให้ค่าความชื้นในโรงเรือนมีค่าเพิ่มขึ้น จะเห็นว่ามีค่าสูงในช่วงแรกของการอบแห้งในวันแรก และพอค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนจะลดลง รูปที่ 6 อุณหภูมิทางออกของช่องระบายอากาศด้านหลังพัดลมซึ่งไม่ได้เปิดพัดลมระบายอากาศค่าอุณหภูมิอากาศที่ไหลออกจากโรงเรือนมีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิภายใน โดยมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย อุณหภูมิขาเข้าโรงเรือนวัดบริเวณช่องทางเข้าด้านหน้าโรงเรือนมีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการไหลอากาศแบบพาความร้อนธรรมชาติ เมื่อมีการไหลเวียนอากาศภายในโรงเรือนและมีการดึงอากาศจากภายนอกที่เย็นกว่าเข้ามาแทนที่ จึงเกิดการไหลเวียนอากาศ

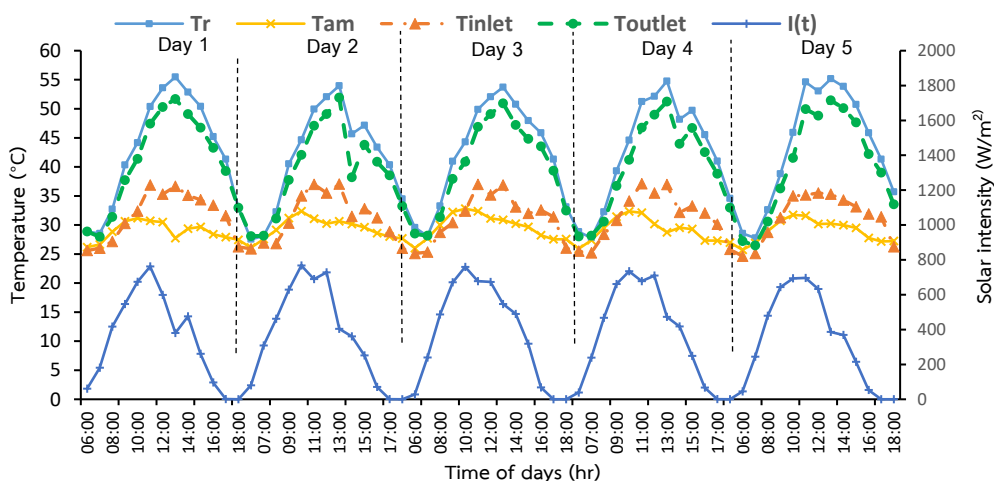
เมื่อพิจารณาที่ค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากันของทั้งสองระบบที่ 35 %d.b. สภาวะที่น้ำหนักผลิตปลาอบแห้งไม่สามารถลดลงได้แล้ว พบว่าการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาอบแห้งน้อยกว่าโดยใช้เวลาในการอบแห้ง 40 ชั่วโมง และการอบแห้งแบบตากแดดใช้เวลา 60 ชั่วโมง ซึ่งการอบแห้งภายในโรงเรือนใช้เวลาในการอบแห้งเร็วกว่า 20 ชั่วโมง



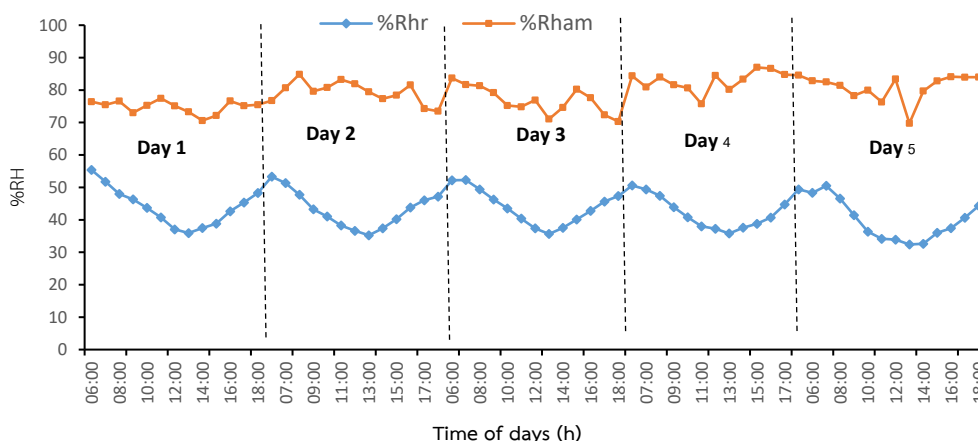
รูปที่ 8 เปรียบเทียบความชื้นของปลาบซ่อนทะเลบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบปิดพัสดลกับการตากแดด

3.1.2 ระบบเปิดพัสดล

การอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่เปิดพัสดลระบายอากาศ เปรียบเทียบการตากแดด ซึ่งเป็นระบบการพาความร้อนแบบบังคับใช้พัสดลระบายอากาศช่วยในการไหลเวียนอากาศเพื่อนำความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ออกสู่บรรยากาศภายนอก ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้อัตราการไหลของอากาศ $204 \text{ m}^3/\text{h}$ การทดลองได้ดำเนินการในวันที่ 29 พฤศจิกายนถึงวันที่ 2 ธันวาคม ผลการทดลองดังในรูปที่ 9-11



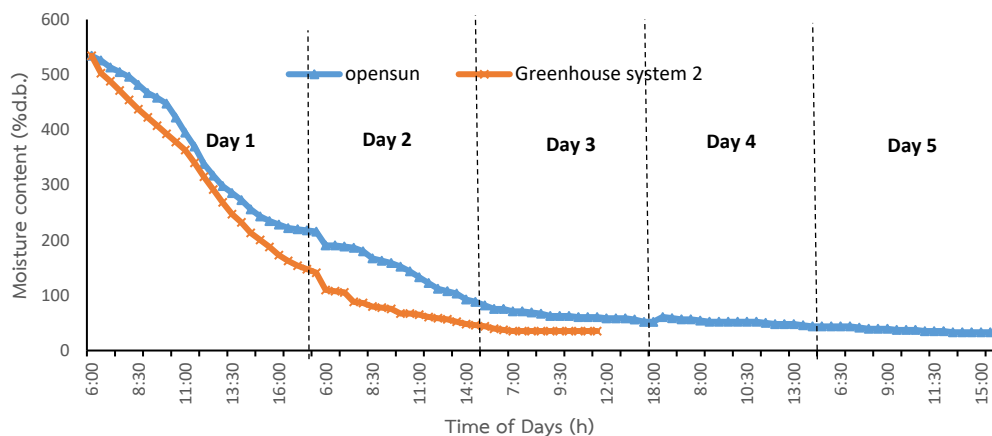
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายใน อุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออก โรงเรือนอบแห้ง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลาที่ทดลอง



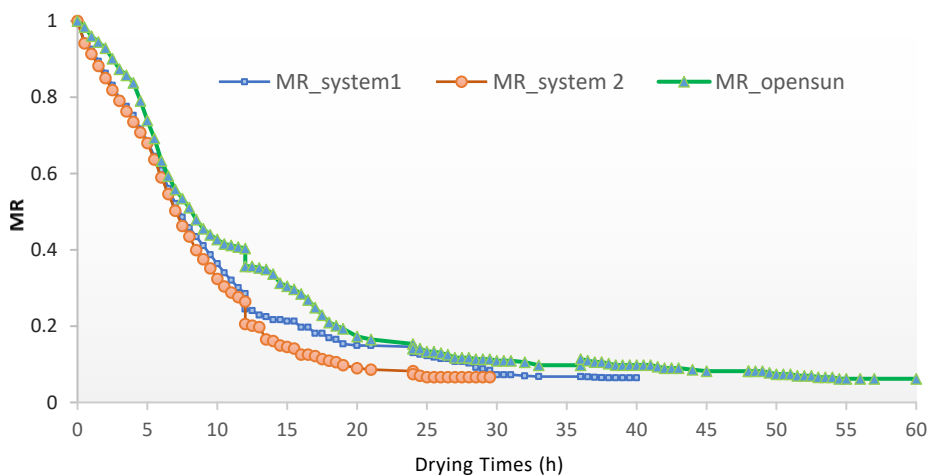
รูปที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนอบแห้งระบบเปิดพัฒลมกับความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อมในช่วงเวลาที่ทดลอง

จากรูปที่ 9-10 พบว่าผลการทดลองในระบบเปิดพัฒลมระบายอากาศ ค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้ง มีค่าเฉลี่ย 42.5°C สูงกว่าภายนอกซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 29.2°C โดยมีค่าความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ย 13.2°C ค่าอุณหภูมิขาเข้าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม แต่มีค่าสูงกว่าในช่วงเที่ยงของแต่ละวัน เนื่องจากค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในโรงเรือนแล้วส่งผ่านออกมาบริเวณทางเข้าของอากาศได้บางส่วน ค่าอุณหภูมิขาออกจากโรงเรือนมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนเล็กน้อย เนื่องจากการนำความร้อนส่วนหนึ่งไปใช้ในกระบวนการอบแห้ง ความชื้นออกจากผลผลิตแล้วถูกนำออกภายนอกโดยการไหลของอากาศด้วยแรงของพัฒลม มีค่าความเข้มข้นสูงสุดในการทดลอง 750.33 W/m^2 มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเฉลี่ย 42.6% โดยมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกแต่เพียงเล็กน้อย เนื่องจากการนำอากาศออกจากโรงเรือนตลอดเวลา ซึ่งจะมีการนำดังกล่าวจะมีทั้งค่าความร้อนและความชื้นออกมามาก ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในไม่ต่างกันมากในแต่ละวันที่ทำการทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์มีภายนอกมีค่าเฉลี่ย 76.1%

การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ลดลงตามเวลาการอบแห้งผลดังรูปที่ 11 พบว่าที่ค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากันประมาณ $35 \% \text{d.b.}$ การอบแห้งด้วยโรงเรือนแสงอาทิตย์ใช้เวลาการอบแห้ง 29.5 ชั่วโมง ส่วนการอบแห้งด้วยวิธีการตากแดดปกติใช้เวลา 54 ชั่วโมง ซึ่งการอบแห้งด้วยโรงเรือนใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า 24.5 ชั่วโมง



รูปที่ 11 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาช่อนทะเลอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบเปิดพัฒน์กับการตากแดดธรรมชาติ



รูปที่ 12 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของปลาช่อนทะเลอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบกับการตากแดด

จากผลการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองระบบพบว่าระบบเปิดพัฒน์ระบายอากาศใช้เวลาในการอบแห้งน้อยสุด เมื่อพิจารณาจากค่าความชื้นที่เท่ากัน เพราะว่าการอบแห้งในระบบเปิดพัฒน์ใช้หลักการพาความร้อนแบบบังคับที่อากาศชั้นสามารถเคลื่อนตัวออกจากโรงเรือนได้เร็วกว่า มีการไหลเวียนอากาศภายในได้ดีกว่า [17] ทำให้สามารถอบแห้งได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว อุณหภูมิภายในของทั้งสองระบบสูงกว่าภายนอกส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในต่ำกว่าภายนอกเช่นกัน ทั้งนี้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน

ยังขึ้นอยู่กับค่าความชื้นที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ด้วย ดังนั้นในช่วงวันแรกของการอบแห้งจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยเฉพาะในระบบปิดพัตลม เพราะความชื้นระบายออกโรงเรือนสู่ภายนอกได้ช้ากว่าระบบที่เปิดพัตลม ส่วนระบบเปิดพัตลมค่าความชื้นไม่มีการสะสมอยู่ในโรงเรือน เพราะพัตลมระบายอากาศจะระบายทั้งอากาศชื้นและความร้อนออกจากโรงเรือน ได้เร็วกว่าระบบปิดพัตลม

การอบแห้งทั้งสองระบบนี้ใช้หลักการของภาวะเรือนกระจกในการอบแห้ง อุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแสงอาทิตย์ได้ระยะหนึ่ง ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ทำให้ค่าการสะสมความร้อนในโรงเรือนเพิ่มขึ้น ทำให้คงค่าอุณหภูมิสูงอย่างต่อเนื่อง และสามารถให้ความร้อนต่อได้หลังจากช่วงเย็นที่ความเข้มแสงอาทิตย์ไม่มีได้อีก 1-2 ชั่วโมง โดยการสะสมความร้อนที่พื้นทำจากคอนกรีตที่สามารถสะสมความร้อนได้ดี [18] และแผ่ความร้อนออกมาเมื่ออุณหภูมิในโรงเรือนมีค่าลดลง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ

ตัวแปร	ระบบปิดพัตลม		ระบบเปิดพัตลม	
	GH	OS	GH	OS
ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ย (W/m^2)	743.80		750.33	
อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}C$)	45.48	30.22	42.48	29.22
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%Rh)	56.36	76.89	42.65	78.94
ความชื้น (%d.b.) พิจารณาที่ใกล้เคียงท้องตลาด (45.4 %d.b.)	45.78	46.18	45.96	45.89
ระยะเวลาการอบแห้ง (ชั่วโมง)	29.5	45	21	44
อัตราการไหลอากาศ (m^3/h)	0	-	204	-

หมายเหตุ: GH คือ ภายในโรงเรือนอบแห้ง OS คือ ตากแดดธรรมชาติ

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็ม โดยการพิจารณาเวลาการอบแห้งที่ค่าความชื้นสุดท้ายใกล้เคียงกับปลาช่อนทะเลจากท้องตลาดเขตพื้นที่ชลบุรีที่นำมาหาค่าความชื้นซึ่งมีค่า 45 %d.b. พบว่าการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มด้วยโรงเรือนอบแห้งแบบเปิดพัตลมใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในต่ำกว่าระบบปิดพัตลมระบายอากาศ เนื่องจากความชื้นจากการระเหยน้ำจากการอบแห้งได้รับการระบายออกอย่างรวดเร็วด้วยหลักการพาความร้อนแบบบังคับ

3.2 คุณภาพสีและปริมาณน้ำอิสระ

ผลการวัดค่าสีและปริมาณน้ำอิสระของปลาช่อนทะเลเค็มหลังจากการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบและการตากแดด แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าสีและปริมาณน้ำอิสระของปลาช่อนทะเลเค็มแห้งในท้องตลาดที่วางจำหน่ายในแหล่งขายของฝาก ตลาดหนองมน และตลาดบางพระ จ.ชลบุรี โดยนำตัวอย่างจำนวน 20 ตัวอย่างมาทำการการค่าความชื้นและวัดค่าสีของปลาในตำแหน่งเดียวกับการทำการทดลอง แสดงผลดังตารางที่ 3

ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ทุกระบบการอบแห้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.55-0.58 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานการของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ซึ่งต้องมีค่าไม่เกิน 0.6 ทั้งนี้ปริมาณน้ำอิสระเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ [19]

ตารางที่ 3 ผลการวัดค่าสีและปริมาณน้ำอิสระของปลาช่อนทะเลเค็ม

ระบบ	ค่าสี			a_w ปริมาณน้ำอิสระ
	L^*	a^*	b^*	
ปลาในท้องตลาด	62.05±4.7 ^a	1.68±0.4 ^a	11.47±3.8 ^a	0.55±0.03 ^a
ตากแดด	61.83±3.63 ^a	1.75±0.66 ^a	11.53±2.35 ^a	0.58±0.03 ^a
ระบบปิดพัดลม	70.50±3.14 ^b	3.76±0.54 ^c	13.75±5.93 ^b	0.57±0.01 ^a
ระบบเปิดพัดลม	61.57±3.50 ^a	2.26±0.77 ^b	11.12±5.21 ^a	0.55±0.01 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ผลการวัดค่าสี พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของปลา ในระบบของการอบแห้งด้วยวิธีการตากแดดปกติ และระบบเปิดพัดลมมีค่าใกล้เคียงกับค่าของปลาในท้องตลาด และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในกรณีระบบปิดพัดลมจะมีความสว่างของสีปลามากที่สุด ส่วนค่าสีแดง (a^*) ของระบบปิดพัดลมจะมีค่าสูงกว่าแบบท้องตลาดและระบบเปิดพัดลม โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และค่าสีเหลือง (b^*) ของระบบปิดพัดลมจะมีความเหลืองมากกว่า เนื่องการอบแห้งภายในโรงเรือนมีค่าสูงกว่าการตากแดดและระบบเปิดพัดลม ส่งผลให้มีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) หรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ได้ [10] รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างสภาพของปลาก่อนอบแห้งและในสภาพที่แห้งแล้วในการทดลองอบแห้งภายในและตากแดดธรรมชาติ



(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 13 (a) ปลาช่อนทะเลเค็มอบแห้งภายในโรงเรือนอบแห้ง (b) ปลาช่อนทะเลเค็มตากแดดธรรมชาติ (c) ปลาช่อนทะเลเค็มแห้งที่อบแห้งภายในโรงเรือน (d) ปลาช่อนทะเลเค็มแห้งที่ตากแดดธรรมชาติ

3.3 สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อปลา

จากการศึกษาวิเคราะห์ความแข็งของเนื้อปลาอบแห้งแล้วภายในโรงเรือนทั้ง 2 ระบบกับการตากแดดปกติ เทียบกับปลาในท้องตลาด พบว่าระบบเปิดพัดลมระบายอากาศมีค่าความแข็งสูงสุดโดยมีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเทียบกับปลาอบแห้งด้วยการปิดพัดลม การตากแดดปกติและปลาในท้องตลาด สำหรับปลาช่อนทะเลที่อบแห้งภายในโรงเรือนปิดพัดลมระบายอากาศกับการตากแดด เทียบกับปลาในท้องตลาด มีค่าใกล้เคียงกันโดยไม่มี ความต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) การอบแห้งภายในโรงเรือนอบแห้งแบบเปิดพัดลมระบายอากาศพิจารณาจากค่าอัตราส่วนความชื้นพบว่าการอัตราการลดลงของความชื้นอย่างรวดเร็ว มีการระเหยนํ้าอย่างรวดเร็ว ทำให้เนื้อสัมผัสของปลามีความแข็งหรือความกรอบมากกว่า

ตารางที่ 4 ค่าความแข็งของเนื้อปลาช่อนทะเลเค็ม

ระบบ	Hardness (kg)
ปลาตามท้องตลาด	17.19±0.588 ^{ab}
ตากแดดปกติ	17.20±0.588 ^{ab}
ระบบปิดพัสดลม	17.69±0.55 ^{ab}
ระบบเปิดพัสดลม	19.30±0.008 ^b

หมายเหตุ: ค่า a b และ c ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปลาช่อนทะเลเค็มแห้ง

จากผลการทดลองการอบแห้งภายในโรงเรือน 2 ระบบคือ แบบปิดและเปิดพัสดลมระบายอากาศ นำค่าอัตราส่วนความชื้นของทั้งสองระบบที่หาค่าได้ มาทำการวิเคราะห์ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งแบบชั้นบางที่นิยมใช้กันทั่วไปในด้านการอบแห้ง โดยเลือกใช้จำนวน 5 แบบจำลอง ตามรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล ซึ่งมีค่าตัวแปรต่าง ๆ ตามที่แสดงในตารางที่ 5 มาทำนายผลอัตราการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มภายในโรงเรือนทั้งสองระบบ การพิจารณาว่าแบบจำลองใดเหมาะสมที่สุดพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีมากที่สุด และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่มีค่าน้อยที่สุด

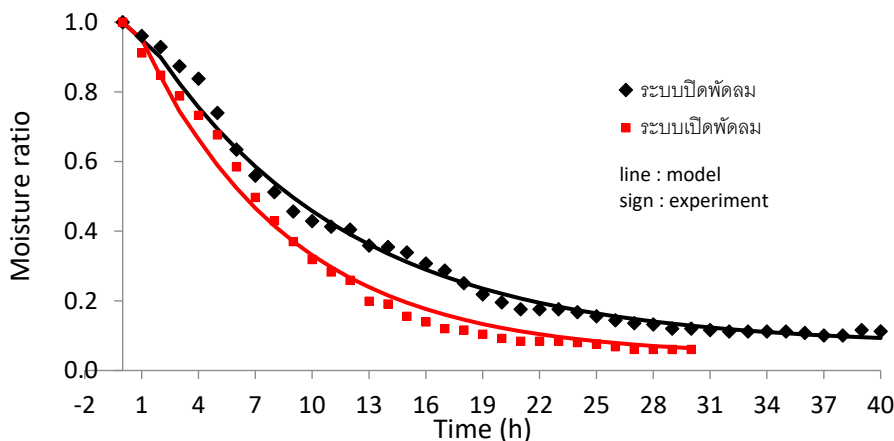
จากตารางที่ 5 พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายผลการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ แบบจำลองของ Logarithmic สามารถทำนายอัตราการอบแห้งได้แม่นยำที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) 99.225 และ 98.867 ตามลำดับ ซึ่งมีมากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่น และมีความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของทั้ง 2 ระบบ เท่ากับ 0.022078 และ 0.025816 ตามลำดับ โดยมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นที่ทำการเลือกมาพิจารณาในการหาแบบจำลองที่เหมาะสมกับการอบแห้งปลา

ตารางที่ 5 ค่าสมการที่ใช้ทำนายอัตราส่วนความชื้นของปลาช่อนทะเลอบแห้งในโรงเรือน 2 ระบบ

แบบจำลอง	พารามิเตอร์	โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	
		ระบบปิดพัฒน	ระบบเปิดพัฒน
Lewis	k	0.071373	0.104994
	R ²	97.045	97.315
	RMSE	0.043127	0.039748
Page	n	0.899864	1.090613
	k	0.094219	0.084919
	R ²	97.406	97.434
	RMSE	0.040401	0.038858
Henderson and Pabis	a	1.009317	1.047331
	k	0.072110	0.110119
	R ²	97.053	97.487
	RMSE	0.043067	0.038453
Logarithmic	c	0.071021	0.041263
	a	1.002179	1.036770
	k	0.095146	0.127375
	R ²	99.225	98.867
	RMSE	0.019848	0.023852
Modified Page	n	0.899864	1.090640
	k	0.072440	0.104229
	R ²	97.406	97.434
	RMSE	0.040401	0.038858

จากผลดังกล่าวหมายความว่า แบบจำลองของ Logarithmic เหมาะสมสำหรับการใช้ทำนายผลการของอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มภายในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งระบบปิดพัฒนและเปิดพัฒนระบายอากาศ ได้ดีที่สุด ดังรูปที่ 14 แสดงผลอัตราส่วน

ความชื้นของการทดลองอบแห้งของปลาช่อนทะเลเค็มอบแห้งภายในโรงเรือนทั้งสองรูปแบบและผลการทำนายจากแบบจำลองของ Logarithmic



รูปที่ 14 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองอบแห้งของปลาช่อนทะเลของระบบปิดพัสดมและเปิดพัสดม กับแบบจำลอง Logarithmic

4. สรุป

ผลการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใน 2 ระบบ คือ ระบบปิดและเปิดพัสดมระบายอากาศเทียบกับการตากแดดธรรมชาติ โดยพิจารณาอัตราการไหลของอากาศ แบบการพาความร้อนแบบธรรมชาติในระบบปิดพัสดม และระบบพาความร้อนด้วยแรงบังคับในระบบเปิดพัสดม ซึ่งทั้งสองระบบมีอัตราการไหลของอากาศแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าระบบเปิดพัสดมระบายอากาศสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่า เนื่องจากการถ่ายเทความชื้นจากผิวสดุดออกสู่อากาศภายในโรงเรือนได้เร็วและนำความชื้นออกจากโรงเรือนได้อย่างต่อเนื่องมากกว่า ทำให้ใช้เวลาการอบแห้งน้อยกว่าเมื่อพิจารณาที่ค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากัน คุณภาพด้านสีของปลาที่อบแห้งแล้วด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบปิดพัสดมจะมีค่าความสว่างและสีออกเหลืองมากกว่าทุกระบบการอบแห้ง ค่าปริมาณน้ำอิสระของปลาช่อนทะเลเค็มในทุกระบบการอบแห้งการมีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของอาหารแห้ง ที่ไม่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของอาหารได้ง่าย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายการอบแห้งปลาช่อนทะเลเค็มได้ดีที่สุดของการอบแห้งภายในโรงเรือนอบแห้งทั้ง 2 ระบบ คือแบบจำลองของ Logarithmic โดยมีค่า R^2 สูงที่สุด และ RMSE น้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนในงานวิจัยนี้

References

- [1] Yaldiz O, Ertekin C, Uzun IH. Mathematical modeling of thin layer solar drying of Sultana grapes. Energy 2001;26:457-65.
- [2] Perera CO, Rahman MS. Heat pump dehumidifier drying of food. Trends in Food Science and Technology 1997;8:75-9.
- [3] Janjai S. Solar drying technology. Nakhon Pathom: Petchkaset Printing; 2017. (In Thai)
- [4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Solar heating [Internet]. 2021 [cited 2021 Jan 2]. Available from: <https://ienergyguru.com/2021/01>. (In Thai)
- [5] Jitjack K, Thepa S, Sudaprasert K, Namprakai P. Improvement of a rubber drying greenhouse with a parabolic cover and enhanced panel. Energy and Buildings 2016;124:178-93.
- [6] Sawangdee Y, Meekun K, Sota C, Banchonhattakit P, Rodjarkpai Y, Phutdhawong W. et.al., editors. Drying salted Cobia in solar greenhouse. Proceedings of the 8th National Academic Conference Muban Chombueng Rajabhat Research; 2020 Mach 1; Muban Chombueng Rajabhat University. Ratchaburi, Thailand. (In Thai)
- [7] Thawatchai O, Jitjack K. A study of solar greenhouse drying in association with infrared heater for dehydration cherry tomatoes. Kasem Bundit Engineering Journal 2020;10(3): 62-83. (In Thai)
- [8] Janjai S. Parabola dome, innovation of drying banana in Thailand. Solar Energy Research, Department of Physics Faculty of Science. Nakhon Pathom: Silpakorn University; 2016. (In Thai)
- [9] AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis. of the Association of Official's Analytical Chemists. 17th ed. Maryland: Gaithersburg; 2000.
- [10] Jaekhom S, Witinantakit K. Drying kinetics of chicken using superheated steam technique. Kasem Bundit Engineering Journal 2019;9(3):201-17. (In Thai)

- [11] Saniso E, Prado M, Yayee F. Optimal condition of mushroom drying using solar energy combined with infrared radiation. *Journal of Yala Rajabhat University* 2013;8(2):107-17. (In Thai)
- [12] Nilnont W. Drying kinetics of mango using solar tunnel dryer. *The Journal of KMUTNB* 2020; 30(1):16-47. (In Thai)
- [13] Younis M, Abdelkarim D, El-Abdein AZ. Kinetics and mathematical modeling of infrared thin-layer drying of garlic slices. *Saudi Journal of Biological Sciences* 2018;25:332-8.
- [14] Teeboonma U, Jongjam S. Ginger drying using infrared-vacuum technique. *Burapha Science Journal* 2010;15:76-86. (In Thai)
- [15] Babalis SJ, Papanicolaou E, Kyriakis N, Belessiotis VG. Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). *Journal of Food Engineering* 2006;75:205-14.
- [16] Demir V, Gunhan T, Yagcioglu AK. Mathematical modelling of convection drying of green table olives. *Biosystems Engineering* 2007;98:47-53.
- [17] Taikhao A, Teekhasap S. Natural Convection and Forced Convection Solar Dryers. *EAU Heritage Journal Science and Techonology* 2013;7(1):23-31. (In Thai)
- [18] Janjai S, Chaichoet C, Intawee P. Performace of PV-ventilated greenhouse dryer for drying bananas. *Asian Journal of Energy and Environment* 2005; 6(2):133-9.
- [19] Pornchalermpong P, Rattanapanon N, Intawee P. Water activity [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 20] Available from <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activit>. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



ดร.กมลวรรณ จิตจักร อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110 โทรศัพท์ 092-332-5566 Email: kamonwan_ji@rmutto.ac.th



จ.ต. แสนเชิง พรหมชิตร์ วศ.ม.(เทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ตะวันออก ตำแหน่งงานปัจจุบัน เจ้าหน้าที่สโมสรฝูงบิน 603 กองบิน 6
กองทัพอากาศไทย ถนนพหลโยธิน แขวงสนามบิน เขตดอนเมือง
กรุงเทพมหานคร 10220 E-mail: iamthunder@icloud.com

Article History:

Received: December 17, 2021

Revised: April 29, 2022

Accepted: April 30, 2022

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต:

ศ.ดร.กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์	สาขาวิศวกรรมขนส่ง สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.โจเซฟ เคดาร์	สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ศ.ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.ปราโมทย์ เตชะอำไพ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห์	สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศ.ดร.สุวัฒนา จิตตลดาการ	ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Prof. Dr. Belkacem Zeghamati	Laboratoire de Mathematiques et Physique des Systeme- Groupe de Mecanique Energetique, Universite de Perpignan, France
รศ.ดร.กมลวัลย์ ลือประเสริฐ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.กัณวรัช พลุปราชญ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.จิราณัฐ เสี่ยมศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพชร	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
รศ.ดร. ฌกร อินทร์พยุ่ง	คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
รศ.ดร.ณฐา คุปต์ชัยียร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ธนุพล ตันนโยภาส	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์	ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ธนู จุยกาย	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.นคร ภูวโรคม	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

รศ.ดร.นิตย์ เพ็ชรรักษ์	รองอธิการบดี สายงานวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยธุรกิจ บัณฑิตย
รศ.ดร.เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.บุญเลิศ สือเฉย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัฐชู	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ประยูร สุรินทร์	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รศ.ดร.ปราโมทย์ ศรีน้อย	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.พรฤดี เนติโสภาคกุล	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.พานิช วุฒิพฤษชัย	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.พาสีทวี หล่อธีรพงศ์	บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย	ที่ปรึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.พิศิษฐ์ โกคาร์ตันกุล	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ไพโรจน์ สิงหนัดกิจ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.พุศกิติ์ ชิวสุวิทย์	ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ภัทรমন จงประดิษฐ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.ยุทธชัย บรรเทึงจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.รัตติกกร วรากุลศิริพันธ์ุ	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รศ.ดร.วรพจน์ กริสุระเดช	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วัชรระ เพียรสุภาพ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.เวทิน ปิยรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.สมศักดิ์ มิตะธา	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.สมิตร ส่งพิริยะกิจ	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.เสรี เศวตเศรณี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
รศ.ดร.สุนิติ สุภาพ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.สุรพล บุญลือ	ภาควิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.อดิศักดิ์ กาญจนพิกุล	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.อรจักร จิตต์โสภาคย์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.อิทธิพงศ์ ชัยสายันท์	บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
รศ.เรวัฒน์ เหล่าไพบูรณ์	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.วัชรินทร์ วิทย์กุล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต บางเขน
รศ.วิญญู แสงสินกสิกิจ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.คันสนีย์ สุภาภา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา เขตบางเขน
รศ.เอนก ศิริพานิชกร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
ผศ.ดร.กรกช ทวีสิน	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร.กิตติพงศ์ อัครกุล	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.กิตติศักดิ์ วรินันทกิตติ	สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

ผศ.ดร.กฤษณาทล ทองศรี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.เชมพัฒน์ ตันติวัฒนกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.จักร จันทลักษณ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.จารุวรรณ เกษมทรัพย์	สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.ดร.จิราพรรณ สุนทรโชติ	ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ฉัตร สุจินดา	ธุรกิจส่วนตัว
ผศ.ดร.ชลัท ทิพาการเกียรติ	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผศ.ดร.ชัยรัตน์ ธีระวัฒนสุข	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.ชูชัย สุจิรวงศ์	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ มกระธัช	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ดวงพร กาศาสปี	สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผศ.ดร.ดาวุด ทองทา	ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ติกะ บุนนาค	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
ผศ.ดร.ทวีศักดิ์ แทะกระโทก	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.นิพนธ์ วรรณโสภาคย์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน	โปรแกรมวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผศ.ดร.ปรีดา ไชยมหาวัน	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพะเยา

ผศ.ดร.พงษ์สัทย์ ประกฤตศิริ	ภาควิทยาศาสตร์พื้นฐานและพลศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.มนูญ มาศนิยม	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.รัฐภูมิ ฐันทนคุณ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ.ดร.วรารกร ศรีเชวงทรัพย์	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ผศ.ดร.วัชรินทร์ ดงบัง	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.วินัย ไฉกล้ำ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.วิรัตน์ จอมขวา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ผศ.ดร.ศิริดล ศิริธร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.สนิท วงษา	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
ผศ.ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมโพธิ อยู่ไว	สาขาวิชาวิศวกรรมเทคนิคธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมศักดิ์ มีนคร	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผศ.ดร.สโรช บุญศิริพันธ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สิตางศุ์ พิลัยหล้า	ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.สิริพร โรจนนันต์	ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ผศ.ดร.สมล แสงเฮง พิสิษฐ์สังฆการ	ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สุรัตน์ อาริรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.อรกมล วังอภิสิทธิ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.กานติส สุดสาคร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.จิรเมธา สังข์เกษม	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.นราธิป แสงชัย	ศูนย์แห่งความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเรือน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.วรรณะ ประภาภรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผศ.วรากร เกิดทรัพย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.สาธิต รุ่งฤดีสมบัติกิจ	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.สุชาติ เหลืองประเสริฐ	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.อนุญัย ระหา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.อนุชิต เจริญ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.กฤษฎชัย วิถีพานิช	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
อ.ดร.คมพันธ์ ชมสมุทร	สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อ.ดร.ฉัตรเพชร ยศพล	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.ชัยพันธ์ ขำญาติ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
อ.ดร.ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อ.ดร.ชาติ ฤทธิหิรัญ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

อ.ดร.ชาณุวิทย์ อุดมศักดิ์กุล	สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ
อ.ดร.ชานินทร์ ศรีสุวรรณภา	ภาควิชาสถิติประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อ.ดร.ณัฐกรณ์ เจริญธรรม	สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.ณัฐวุฒิ ชนศรีสถิต	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.ดร.ตันติกร พิษณุพิบูล	คณะกรรมการจัดการโลจิสติกส์และการคมนาคมขนส่ง สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
อ.ดร.บุญเลิศ วงศ์เจริญแสงสิริ	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
อ.ดร.ปริญญา บุญเกษม	สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อ.ดร.ปริญญา บุญมาเลิศ	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.ประภาส ผ่องสนาม	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.พิชิตต์ จรัสบำรุงโรจน์	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.ภักดิ์วัฒน์ แสนเจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
อ.ดร.วาทัญญ รอดประพัฒน์	สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อ.ดร.วศิน มหัตนรินทร์กุล	ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.ดร.วิทยา พวงสมบัติ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อ.ดร.ศรินทร์ วัชรลี	กลุ่มวิจัยและพัฒนาชีวเคมี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
อ.ดร.ศักดิ์ชาย รักการ	สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.สำเร็จ เนตรภู	บริษัท เอส. เอช. เค. เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
อ.ดร.สุวรรณ สายสิน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
อ.ดร.อดิเทพ ศรีคงศรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.อภิชาติ บัวกล้า	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

อ.ดร.อนันต์ เดอร์ชิง	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
อ.ดร.เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
ดร.พุทธิพงษ์ หะลีรัตน์วัฒนา	สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวงชนบท
ดร.อัศคพัฒน์ สว่างสุริย์	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง
อ.จิรวัดณ์ ปลั่งไหม	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย เกษมบัณฑิต
อ.ณัฐนนท์ รัตนไชย	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
อ.นิตยา จันทรเรือง มหาผล	เลขาธิการสภาวิศวกร, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
อ.นิติมา อัจฉริยะโพธา	ศูนย์บริการทางการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี
อ.สมเดช อิงคะวะระ	สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา



ปรัชญา ปณิธาน

1. ผลิตบัณฑิตทางวิศวกรรมที่มีคุณภาพ เพื่อสนองความต้องการของส่วนราชการ เอกชน ให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ
2. ค้นคว้าและวิจัยทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะสิ่งที่ยังประโยชน์ให้เกิดแก่ประเทศไทยโดยตรง
3. บริการวิชาการ และให้คำปรึกษาแนะนำทางวิศวกรรมศาสตร์แก่หน่วยงานของรัฐและเอกชน รวมทั้งประชาชนทั่วไป

เป้าหมาย และวัตถุประสงค์

1. ผลิตบัณฑิตทางวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อแสวงหาเทคโนโลยีที่ทันสมัย อันนำไปสู่การพัฒนาตนเองทางเทคโนโลยีในการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ
2. ให้บริการวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์แก่สังคม

วิสัยทัศน์

**“คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต เป็นคณะวิศวกรรมศาสตร์
ที่ติดอันดับ 1 ใน 10 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอกชน ที่เป็นที่ยอมรับ
โดยมุ่งเน้นผลิตบัณฑิตวิศวกรนักปฏิบัติที่มีมั่นคงและยั่งยืน”**

ผู้เขียนจะต้องจัดเตรียมบทความต้นฉบับที่พิมพ์ตามข้อกำหนดของรูปแบบวารสาร จำนวน 1 ชุด และผู้เขียนบทความกรอกข้อมูลใบนำส่งบทความ พร้อมสแกนใบนำส่งบทความและแนบไฟล์ต้นฉบับบทความ มาที่

E-mail: engkasemjournal@kbu.ac.th

และสมัครสมาชิกพร้อมส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System ได้ที่

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register>

ท่านที่สนใจสามารถดูรายละเอียดและดาวน์โหลดแบบฟอร์มต่างๆ หรือสอบถามเพิ่มเติม ได้ที่

- เว็บไซต์: http://eng.kbu.ac.th/home/?main_page=research&page=engineer_journal
- E-mail: engkasemjournal@kbu.ac.th
- <https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register>
- โทรศัพท์: 0-2320-2777 ต่อ 1211



www.kbu.ac.th

วิทยาเขตพัฒนาการ

1761 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง
กรุงเทพฯ 10250
โทร. 0-2320-2777
Fax : 0-2321-4444

วิทยาเขตร่มเกล้า

60 ถนนร่มเกล้า เขตมีนบุรี
กรุงเทพฯ 10510
โทร. 0-2904-2222
Fax : 0-2904-2200